

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри електроенергетики

_____ І. Л. Лебединський

" ____ " _____ 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

« Проектування системи електропостачання адміністративної будівлі Сумського
регіонального центру обслуговування мережі НЕК «Укренерго»

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконала студентка гр. ЕТ.мз-11с _____ І. В. Говорухіна

Керівник, к.ф.-м.н, доцент _____ М. В. Петровський

Консультант

з економічної частини, к.е.н., доцент _____ О. М. Маценко

Нормоконтроль _____ М. А. Никифоров

Суми – 2022

РЕФЕРАТ

с. 90, рис. 4, табл. 17.

Бібліографічний опис: Говорухіна І.В. Проектування системи електропостачання адміністративної будівлі Сумського регіонального центру обслуговування мережі НЕК «Укренерго» [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістр; спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / І.В. Говорухіна; керівник М.В. Петровський. – Суми: СумДУ, 2022. – 90 с.

Ключові слова:

Система, розетка, електропостачання, комп'ютер, струм, напруга, кабельна лінія, струм короткого замикання, автоматичний вимикач, автомат захисного відключення, розчіплював.

System, outlet, power supply, computer, current, voltage, cable line, short-circuit current, circuit breaker, circuit breaker, disconnecter.

Об'єкт дослідження: електрична мережа 0,4 кВ поверху адміністративної будівлі.

Короткий огляд.

Проведено розрахунок електричних параметрів системи електропостачання поверху адміністративної будівлі. Розраховано навантаження на двох рівнях електропостачання з врахуванням систем освітлення приміщення, а також струми короткого замикання та пікові струми. Обрано та перевірено перерізи кабелів розподільчої мережі 0,4 кВ від проектованої шафи ШР-3. Здійснений вибір комутаційних апаратів розподільчого пристрою 0,4 кВ.

Перелік умовних скорочень

КЗ – коротке замикання
ККД – коефіцієнт корисної дії
ККУ – комплектні конденсаторні установки
ТП – трансформаторна підстанція
ТС – трансформатор струму
ЦРП – центральний розподільний пункт
ЦТП – цехова трансформаторна підстанція
ШНВ – шафа низьковольтна вводу
КСО – камера стаціонарна однобічного обслуговування
КТП – комплектна трансформаторна підстанція
КУ – конденсаторна установка
НН – низька напруга
ПС – підстанція
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок
РП – розподільний пункт
СВ – струмова відсічка
СД – синхронний двигун
АД – асинхронний двигун
ВГКЗ – вимикаюча гранична комутаційна здатність
ГПП – головна понижувальна підстанція
ДЖ – джерело живлення
ЕА – електричний апарат
ЕД – електродвигун
ЕО – електрообладнання
ЕП – електроприймач
ЕУ – електроустановка
СЕП – система електропостачання
СРШ – силова розподільна шафа
ТВ – тривалість вмикання
ШНЛ – шафа низьковольтна лінійна
ШРА – шинопровід розподільний алюмінієвий
ЩРО – щиток робочого освітлення

Зміст

Вступ.....	6
1. Вихідні дані	10
2. Розрахунок електричних навантажень.....	14
2.1. Розрахунок силового навантаження на першому рівні	17
2.2. Розрахунок силового навантаження на другому рівні	20
2.3. Навантаження загального електричного освітлення.....	22
2.4. Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення поверху адмінбудівлі.....	25
2.5. Розрахунок пікових струмів.....	28
3. Вибір перерізу провідників.....	30
3.1. Вибір перерізу провідників мережі живлення 0,4 кВ.....	30
3.2. Вибір перерізу кабелів	31
3.3. Розрахунок перерізів кабелів мережі живлення	34
3.4. Вибір перерізу провідників розподільної мережі 0,4 кВ.....	35
3.5. Вибір кабелів від ШР-3 до ЕП.....	36
4. Розрахунок струмів короткого замикання	39
4.1. Розрахунок струмів трифазного КЗ.....	40
4.2. Розрахунок струмів однофазного КЗ.....	46
5. Вибір автоматичних вимикачів	52
5.1. Вибір ввідного автомата шафи ШР-3	56
5.2. Вибір автоматів розподільної мережі.....	58
6. Охорона праці.....	60
7. Економічна частина.....	72
Висновки.....	79
Список використаної літератури.....	81
Додатки.....	83

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Говорухіна І.В.				Проектування системи електропостачання адміністративної будівлі Сумського регіонального центру обслуговування мережі НЕК «Укренерго»		Літ.	Лист	Листів
Керівник	Петровський М.В.						5	90	
Консульт.					СумДУ, ЕТ.мз-11с				
Н.контроль	Никифоров М.А.								
Затвер.	Лебединський І.Л								

Вступ

Національна енергетична компанія «Укренерго» - приватне акціонерне товариство зі 100% акцій у власності держави, що належить до сфери управління Міністерства енергетики України.

НЕК «Укренерго» являється членом-спостерігачем у європейському енергооб'єднанні ENSTO-E. Компанія є сертифікованим оператором системи передачі України з функціями оперативно-технологічного управління Об'єднаною енергосистемою України, передачі електроенергії магістральними мережами від пунктів генерації до розподільчих мереж.

Інтеграція ОЕС України до загальноєвропейської енергосистеми ENSTO-E – одна з найголовніших стратегічних цілей «Укренерго». Це є важливою складовою енергетичної безпеки України. І ось чому – синхронна робота енергосистеми України з енергооб'єднанням ENSTO-E підвищує стійкість та надійність роботи ОЕС України, розширює можливості обміну електроенергією між суміжними країнами, посилює конкуренцію на внутрішньому ринку та створює можливості для роботи на енергетичному ринку Європи.

Організаційна структура НЕК «Укренерго» будується за регіональним принципом. Структура включає в себе 4 територіальні управління обслуговування мережі: Західне, Східне, Північне та Південне. До їх складу входять 15 регіональних центрів обслуговування мереж (РЦОМ).

Функції диспетчерського контролю в компанії виконуються шістьма регіональними диспетчерськими центрами, крім цього, у складі компанії функціонує спеціалізований відокремлений підрозділ «Будівництво і ремонт».

Персонал компанії налічує майже 8000 працівників та займається обслуговуванням унікальних високотехнологічних зразків енергетичного обладнання більше ніж 100 підстанцій рівня напруги 220-750кВ та понад

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19000 км міждержавних та магістральних ЛЕП, завдяки яким щороку передаються сотні мільярдів кіловат-годин електроенергії від пунктів генерації до розподільчих мереж.

Завдяки високопрофесійному рівню працівників компанії та відповідальному підходу до виконання поставлених завдань, а також злагодженості при взаємодії окремих служб та підрозділів, НЕК «Укренерго» має змогу забезпечувати наступні вкрай важливі для функціонування ОЕС України питання:

- Експлуатацію та розвиток магістральних та міждержавних електромереж;
- Паралельну роботу ОЕС України з енергосистемами сусідніх країн;
- Технічну можливість імпорту/експорту електроенергії через державні кордони;
- Баланс виробництва і споживання електроенергії і потужності в ОЕС України в режимі реального часу.

Об'єктом даної магістерської роботи є проектування електропостачання адміністративної будівлі Сумського регіонального центру обслуговування мережі НЕК «Укренерго».

Нажаль, з часу проголошення незалежності України, будівництво нових будівель адміністративного призначення практично припинилось, і станом на сьогодні, продовжують функціонувати переважно радянські об'єкти адміністративно-конторського призначення, які не відповідають сучасним потребам адміністрування, умовам експлуатації; безпеки; крім того такі споруди не є енергоефективними, що критично важливо, зважаючи на сучасні економічні виклики, внаслідок чого переважна більшість українських адміністративних будівель є надзвичайно дорогими в експлуатації, на відміну від європейських та світових аналогів, що дозволяє говорити про необхідність розроблення нових стандартів, на основі принципів: альтернативного використання джерел енергії; новітніх технологій в цілях економії ресурсів під час експлуатації тощо.

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Відповідно до ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення», адміністративні будівлі підприємств – це будівлі, в яких розміщуються приміщення управління, конструкторських бюро, інформаційно-технічного призначення, копіювально-розмножувальних служб, обчислювальної техніки, охорони праці, приміщення для навчальних занять тощо.

Адміністративна будівля являє собою, так би мовити, «серце підприємства», адже до неї стікаються всі поточні дані та показники роботи компанії (або окремого структурного підрозділу компанії), тут приймаються поточні рішення і звідси відбувається керування роботою компанії у режимі реального часу.

Проектування адміністративних будівель – це багатогранний творчий процес, метою якого є забезпечення комфортного і безпечного перебування людей, так як офісні будівлі – це основа сучасного ділового світу, то адміністративні будівлі, звідки ведеться керівництво робочими процесами – це завдання, яке вимагає ґрунтовного підходу та використання передового досвіду.

В процесі проектування розробляється пакет робочої документації (робочий проект) для забезпечення проведення будівельного (будівництво нових будівель або реконструкція існуючих) процесу на належному професійному рівні. Документація включає в себе будівельні креслення, необхідні для чіткого розуміння проекту вертикальні розрізи адміністративної будівлі, поповерхове планування, переліки необхідних будівельних та оздоблювальних матеріалів, схеми прокладання інженерних комунікацій.

В нинішніх реаліях з урахуванням рівня розвитку науки і техніки, при проектуванні адміністративних будівель доцільно впроваджувати ефективні інженерні системи, включно з системами кондиціонування, вентиляції та опалення.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При проектуванні адміністративної будівлі необхідно вирішити та врахувати широкий спектр питань: від раціонального розміщення робочих місць для персоналу (включно з підбором меблів), вибір якісного та ефективного технологічного обладнання та оргтехніки, функціонально комфортне розміщення системи освітлення та розеткових груп у кожному приміщенні з урахуванням призначення приміщень та видів виконуваної у них роботи. Також слід зауважити, що у просторому, світлому і грамотно облаштованому приміщенні люди будуть працювати більш ефективно. При цьому, не варто забувати і про організацію зручного і комфортного місця для відпочинку співробітників в перервах між виконанням своїх функціональних обов'язків.

Згідно з ДБН В.2.2-9:2018 «Громадські будинки та споруди. Основні положення», громадські будинки (до яких відносяться і адміністративні будівлі) мають бути запроектовані, зведені та обладнані таким чином, щоб попередити ризик отримання травм відвідувачами та персоналом при пересуванні всередині і біля будинку та споруди, при вході та виході з них, а також у разі користування їх елементами та інженерним обладнанням.

Окремими розділами робочого проекту будівництва (реконструкції) вирішуються питання пожежної безпеки, енергоефективності, доступності для маломобільних груп населення та інвалідів, охорони навколишнього середовища.

В даній магістерській роботі буде проведено (як приклад) проектування системи електропостачання та електроосвітлення 3-го поверху існуючої 4-ох поверхової адміністративної будівлі.

					MP 5.8.14.1.14.0 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Вихідні дані

На відміну від інших проектів, проект електропостачання адміністративної будівлі не має єдиного алгоритму розробки, що застосовується для всіх випадків проектування. Справа в тому, що вимоги до мережі електроживлення адміністративних комплексів можуть сильно відрізнятись в залежності від їх архітектури та функціонального призначення.

Так, якщо будинок розташований окремо, в нього необхідно включити всі етапи розрахунку блискавкозахисту і контурів заземлення. У тих же випадках, коли проектування виконується для окремої офісної секції в багатоповерховій будові, основною вимогою може бути жорстке відповідність виділеним лімітам на споживану потужність.

Зважаючи на це, розробка проектів електрики для адміністративних будівель вимагає професійного володіння всім методиками електротехнічного проектування.

Третій поверх адміністративної будівлі Сумського регіонального центру обслуговування мережі НЕК «Укренерго» являє собою сукупність 22 приміщень, загальною площею 339,98 м². Відповідно до призначення приміщення можна розподілити на робочі (кабінети начальників та робочих груп), сантехнічні (санвузли та вбиральні), загального призначення (коридори та сходові клітини), а також побутові (кімнати для прийому їжі, роздягальні)

Експлікація приміщень 3-го поверху зведена в таблицю 1.1.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Експлікація приміщень 3-го поверху

Експлікація приміщень			
Номер приміщення	Найменування	Площа, м2	Кат. прим.
1	Кабінет начальника Електротехнічного відділу	30,25	
2	Приймальня	14,57	
3	Кабінет директора	31,8	
4	Електротехнічний відділ	15,07	
5	Відділ господарського забезпечення	17,46	
6	Архів	33,15	
7	Відділ кадрів	13,7	
8	Побутове приміщення Групи діагностики і захисту від перенапруг	11,95	
9	Кабінет начальника Відділу господарського забезпечення	20,78	
10	Бухгалтерія	12,58	
11	Бухгалтерія	29,11	
12	Бухгалтерія	5,94	
13	Санвузол	5,92	
14	Вбиральня	4,96	
15	Санвузол	6,13	
16	Вбиральня	5,14	
17	Начальник Групи діагностики і захисту від перенапруг	11,26	
18	Сходові клітина (ліва сторона)	15,48	
19	Коридор	25,12	
20	Коридор	7,76	
21	Коридор	4,05	
22	Сходові клітина (права сторона)	17,8	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.14.1.140 ПЗ

Арк.

11

Відповідно до існуючої схеми зовнішнього електропостачання – Електрощитова адміністративної будівлі Сумського регіонального центру обслуговування мережі НЕК «Укренерго» складається з трьох секцій та живиться від двох секцій РУ-0,4кВ існуючої ТП-273. Існуючі мережі зовнішнього електропостачання виконані кабелями марки ААБл-3х70 довжиною 190 м.

Живлення електроенергією 3-го поверху будівлі виконується за допомогою проектованої поверхової розподільчої шафи ШР-3. Мережа живлення виконується від існуючого РУ-0,4кВ, що знаходиться в існуючому приміщенні Електрощитової.

Для захисту від струмів електричного кола надмірної сили (струмів короткого замикання) у проектованій розподільчій шафа встановлюються автоматичні вимикачі та диференціальні автоматичні вимикачі, які при перевищенні допустимої максимальної величини струму переривають ланцюг. Теплові та електромагнітні розчеплювачі цих автоматів підбирають так, щоб вони безперешкодно пропускали струм нормальної сили, а при перевантаженнях розривали ланцюг раніше, ніж струм перевантаження зможе пошкодити прилади кабелі.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції обладнання, кола розеточних мереж захищаються диференціальними автоматичними вимикачами, що окрім вищезазначеного захисту від струмів надмірної сили виконують також захист від струмів витоку та вимикають лінію при перевищенні значення по струму витоку 30 мА.

План розміщення робочих місць та обладнання у приміщеннях наведені у додатках А і Б відповідно.

Основними споживачами електроенергії 3-го поверху адміністративної будівлі є комп'ютерна техніка, побутові електроприлади, господарче

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

обладнання, прилади системи кондиціювання повітря та освітлювальна мережа.

Перелік технологічного устаткування насосної наведено у таблиці 1.2.

Потужність електроспоживання ($P_{ном}$) зазначена для одного електроприймача.

Таблиця 1.2. Перелік струмоприймачів 3-го поверху адмінбудівлі

№ за планом	Найменування ЕП	$P_{ном}, \text{кВт}$	$\cos \phi$	К-т використання, Кв
РК1-РК22	Розетки підключення комп'ютерної техніки	0,5	0,9	0,85
РПМ	Розетка для пральної машини	2,4	0,8	0,5
РП1-РП16	Розетки підключення побутових приладів	0,2	0,8	0,8
РГ1-РГ9	Розетки підключення господарчої техніки	0,1	0,8	0,5
К1-К3, К5-К9	Кондиціонер	2	0,8	0,7
К4	Кондиціонер	3	0,8	0,7
В1-В3	Вентилятор витяжний	0,15	0,8	0,7
РС1-РС2	Рукосушка	1,2	0,9	0,6

2. Розрахунок електричних навантажень

Фактичне значення розрахункового навантаження залежно від кількості ЕП у групі та їх режиму роботи перевищує середнє, якщо розглядаються лише ЕП, або буде нижчим від середнього, якщо враховується ймовірність одночасної роботи всього технологічного устаткування, тобто залежить від рівня в СЕП, на якому визначається навантаження. Тому величину середнього навантаження за максимально завантаженою зміну використовують для визначення розрахункового навантаження.

Піковий струм - це максимальний короткочасний струм тривалістю в кілька секунд. Піковим струмом для одного ЕП є пусковий струм ($I_{\text{пуск}}$), який виникає при вмиканні одного ЕД або зварювального трансформатора, при експлуатаційному КЗ при зварюванні на одній установці, плавці сталі у дуговій електропечі та ін. Для групи ЕП піковий струм ($I_{\text{пік}}$) визначається з урахуванням ЕД з найбільшим пусковим струмом.

Пусковий та піковий струми необхідні для вибору уставок розчеплювачів автоматів та плавких вставок запобіжників, визначення розмаху зміни напруги для оцінки допустимості коливань напруги та перевірки можливості самозапуску ЕД.

Кожен ЕП характеризується низкою номінальних параметрів, як-то: напруга, частота струму, коефіцієнт потужності, коефіцієнт корисної дії (ККД) та інших, що зазначаються в паспорті ЕП.

Вихідні дані для розрахунку навантажень:

- установлена (номінальна) потужність ЕП (для ЕД - його активна потужність, для трансформаторів дугового і машин контактного зварювання - повна потужність);

- номінальна напруга ЕП;

- коефіцієнт потужності ЕП;

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- режим роботи ЕП (тривалий, ТВ для ЕП повторно-короткотривалого режиму, короткочасний);
- коефіцієнт використання активної потужності;
- фазність ЕП (трифазний або однофазний);
- спосіб приєднання однофазного ЕП (на фазну або лінійну напругу).

Установлена (номінальна) потужність ЕП для ЕД тривалого режиму роботи та всіх видів нагрівальних ЕП - приймається рівною паспортній потужності:

$$P_n = P_{пасп} \quad (2.1)$$

де $P_{пасп}$ - номінальна потужність на валу ЕД, кВт;

- для ЕД повторно-короткочасного режиму роботи - паспортній потужності (кВт), приведеній до відносної ТВ = 1,

$$P_n = P_{пасп} \cdot \sqrt{ТВ_{П}} \quad (2.2)$$

де $ТВ_{П}$ - паспортна тривалість вмикання, в.о;

- для зварювальних трансформаторів:

$$S_n = S_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ_{П}}, \quad (2.3)$$

$$P_n = S_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ_{П}} \cdot \cos \phi_{пасп}, \quad (2.4)$$

де $\cos \phi_{пасп}$ - паспортне значення коефіцієнта потужності;

- для кранів номінальні активна та реактивна потужності визначаються як для одного ЕП з сумарною номінальною потужністю:

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_{n,i}, \quad (2.5)$$

$$Q_n = \sum_{i=1}^n Q_{n,i} = \sum_{i=1}^n P_{n,i} \operatorname{tg} \phi_i, \quad (2.6)$$

де n - кількість ЕД крана;

$P_{n,i}$ - номінальна активна потужність i -го ЕП;

$\operatorname{tg} \phi_i$ - відповідає значенню коефіцієнта потужності $\cos \phi_i$ i -го ЕП.

Рівні визначення розрахункових навантажень наведені на рис. 2.1.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перший рівень електропостачання - це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують окремі ЕП до ПРЕ (шинопроводу, СРШ, СРП або силової збірки).

Другий рівень електропостачання - це електричні мережі напругою до 1 кВ, які приєднують СРШ, силові пункти та збірки, ШРА до збірних шин НН ЦТП або до ШМА.

Третій рівень — це збірні шини НН трансформаторних підстанцій та ШМА.

Обчислення розрахункових навантажень на другому та третьому рівнях електропостачання здійснюється методом розрахункових коефіцієнтів [15]. Цей метод належить до основних методів розрахунку електричних навантажень. Він є найбільш точним і рекомендується при визначенні розрахункових навантажень для груп ЕП, коли відомі дані кожного ЕП [2].

В даній роботі визначення навантажень на III рівні не проводиться, так як це не входить до меж проектування.

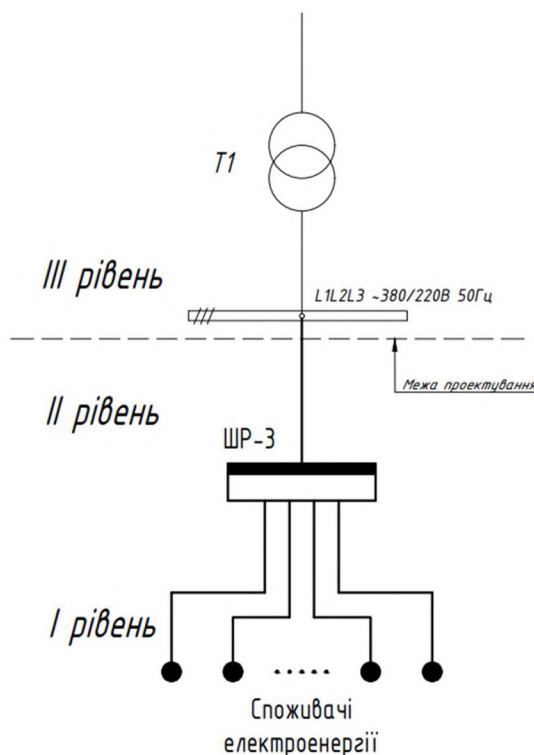


Рисунок 2.1 – Рівні визначення розрахункових навантажень

					МР 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.1. Розрахунок силового навантаження на першому рівні

На першому рівні електропостачання навантаження на лінію (провід, кабель) створюється одним ЕП, тому для всіх таких приєднань при відомому фактичному коефіцієнті завантаження k_3 ЕП розрахункові активні та реактивні навантаження першого рівня електропостачання визначаються за формулами:

$$p_{p.1} = k_3 \cdot p_{ном}, \quad (2.7)$$

$$q_{p.1} = q_{ном} \cdot tg\phi, \quad (2.8)$$

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2}, \quad (2.9)$$

$$I_{p.1} = \frac{s_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.10)$$

де $tg\phi$ - відповідає паспортному значенню коефіцієнта потужності $cos\phi$, яке характерне для даного ЕП;

$U_{ном}$ - номінальна напруга електричної мережі до 1 кВ.

Якщо фактичний коефіцієнт завантаження k_3 ЕП невідомий, то при проектуванні приймається $k_3 = 1$. Таким чином, за розрахункове активне навантаження приймається номінальна потужність ЕП при $TB = 1$.

Номінальний струм ЕД визначається як:

$$I_{ном.д} = \frac{P_{ном.д}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot cos\phi_{ном.д} \cdot \eta_{ном.д}}, \quad (2.11)$$

де $P_{ном.д}$ - номінальна активна потужність ЕД;

$cos\phi_{ном.д}$ - номінальний коефіцієнт потужності ЕД;

$\eta_{ном.д}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії (ККД) ЕД.

Величини $cos\phi_{ном.д}$ і $\eta_{ном.д}$ приймаються з каталогів заводів-виготовлювачів і довідників [16,17].

Доцільно для кожного ЕП обчислити його пусковий струм:

$$I_{пуск} = k_{пуск} \cdot I_{ном.ЕП}, \quad (2.12)$$

де $k_{пуск}$ - коефіцієнт пуску;

$I_{ном.ЕП}$ - номінальний струм ЕП.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для конкретних ЕП коефіцієнти пуску приймають за паспортними даними. Якщо вони відсутні, то щодо номінального струму ЕП величина пускового струму приймається:

- 5-кратною для асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором та синхронних двигунів (СД);
- 2,5-кратною для двигунів постійного струму та АД з фазним ротором;
- 3-кратною для зварювальних і пічних трансформаторів, машин контактного зварювання при максимальній вторинній напрузі [2].

Визначення розрахункових навантажень на першому рівні електропостачання для кондиціонера К1

Для кондиціонера К1 за формулою (2.7) при прийнятому $k_3 = 1$ розрахункове активне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$p_{p.1} = p_{ном.д} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ кВт.}$$

Для кондиціонера приймається коефіцієнт активної потужності $\cos \phi = 0,8$, за формулою (2.8) при прийнятому коефіцієнті реактивної потужності $\tan \phi = 0,75$, який відповідає заданому коефіцієнту активної потужності $\cos \phi = 0,8$, розрахункове реактивне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$q_{p.1} = q_{ном.д} = 2 \cdot 0,75 = 1,5 \text{ кВАр.}$$

За формулою (2.9) розрахункове повне навантаження на першому рівні електропостачання:

$$s_{p.1} = \sqrt{p_{p.1}^2 + q_{p.1}^2} = \sqrt{2^2 + 1,5^2} = 2,5 \text{ кВА}$$

Потім за формулою (2.10) визначається розрахунковий струм першого рівня електропостачання:

$$I_{p.1} = \frac{2,5}{0,22} = 11,36 \text{ А.}$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

За неповними вихідними даними, які при проектуванні беруться із завдань технологів (наводиться найменування устаткування та його встановлена потужність), для кондиціонера приймається коефіцієнт пуску $k_{II} = 3$ – з урахуванням факту, що кондиціонер керується електронним блоком керування і пуск його двигуна виконується плавно, зменшуючи тим самим величину стрибка струму в момент пуску.

Визначаємо пусковий струм за формулою (2.12)

$$I_{пуск} = 3 \cdot 11,36 = 71,22 \text{ А.}$$

Отримані за формулами (2.7) - (2.12) результати розрахунків зведено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахункове силове навантаження на першому рівні електропостачання

№ за планом	Найменування ЕП	рном,кВт	cosφ	К-т викорис- тання, кВ	tgφ	рр.1, кВт	qr.1, квар	sp.1, кВА	Ip.1, А	Inиск, А
РК1-РК22	Розетки підключення комп'ютерної техніки	0,5	0,9	0,85	0,62	0,5	0,31	0,59	2,67	8,02
РПМ	Розетка для пральної машини	2,4	0,8	0,5	0,75	2,4	1,80	3,00	13,64	40,91
РП1-РП16	Розетки підключення побутових приладів	0,2	0,8	0,8	0,75	0,2	0,15	0,25	1,14	3,41
РГ1-РГ9	Розетки підключення господарчої техніки	0,1	0,8	0,5	0,75	0,1	0,08	0,13	0,57	1,70
К1-К3, К5-К9	Кондиціонер	2	0,8	0,7	0,75	2	1,50	2,50	11,36	34,09
К4	Кондиціонер	3	0,8	0,7	0,75	3	2,25	3,75	17,05	51,14
В1-В3	Вентилятор витяжний	0,15	0,8	0,7	0,75	0,15	0,11	0,19	0,85	2,56
РС1-РС2	Рукошушка	1,2	0,9	0,6	0,48	1,2	0,58	1,33	6,06	18,18

2.2. Розрахунок силового навантаження на другому рівні

На другому рівні електропостачання навантаження на живильну лінію створюється групою ЕП, які приєднані до ПРЄ. Оскільки одночасно з максимальним навантаженням усі ЕП не працюють, то результуюче навантаження завжди менше від суми їх номінальних потужностей і буде більшим від середнього навантаження за максимально завантажену зміну (за малої кількості ЕП) або дорівнювати йому (за значної кількості ЕП), що характеризується коефіцієнтами розрахункових активних навантажень K_{pa} і розрахункових реактивних навантажень K_{pp} .

Коефіцієнт розрахункових активних навантажень K_{pa} залежить від ефективного числа ЕП n_e , середньовиваженого коефіцієнта використання активної потужності $K_{e\text{ св}}$ та сталої часу нагрівання мережі T_o , яка на другому рівні електропостачання приймається $T_o = 10$ хв (розрахунковий інтервал часу $3T_o = 30$ хв).

Ефективне число ЕП n_e - це така умовна кількість однорідних за режимом роботи ЕП однакової потужності, яка обумовлює те саме значення розрахункового навантаження, як і група ЕП різних за режимом роботи та потужністю. Величина ефективного числа ЕП n_e визначається так:

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n p_{ном.i})^2}{\sum_{i=1}^n p_{ном.i}^2}, \quad (2.13)$$

де n - кількість працюючих ЕП в групі;

$p_{ном.i}$ - номінальна активна потужність i -го ЕП при $TВ = 1$.

Знайдені за формулою (2.13) значення n_e округляються до найближчого меншого цілого числа.

Число ефективних ЕП n_e приймається рівним дійсному числу ЕП n , якщо відношення потужностей найбільшого до найменшого ЕП групи не перевищує 3 ($p_{ном. макс} / p_{ном. мін} \leq 3$).

Для груп різних ЕП різної потужності та різного режиму роботи середньозважений коефіцієнт використання активної потужності:

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{в.св} = \frac{\sum_{i=1}^k P_{см.i}}{\sum_{i=1}^k P_{ном.i}}, \quad (2.14)$$

де k — кількість характерних груп ЕП;

$P_{см.i}$ — групова середня активна потужність за максимально завантаженою зміну i -ї групи ЕП;

$P_{ном.i}$ — групова номінальна активна потужність i -ї групи ЕП, яка визначається за формулою (2.5).

Групове середнє активне навантаження за максимально завантаженою зміну i -ї групи ЕП визначається за формулою:

$$P_{см.i} = \sum_{i=1}^n k_{в.i} \cdot p_{ном.i}, \quad (2.15)$$

де n - кількість ЕП в групі;

$k_{в.i}$ - коефіцієнт використання активної потужності i -го ЕП;

$p_{ном.i}$ - номінальна активна потужність i -го ЕП при $TВ = 1$.

Коефіцієнти використання активної потужності $k_{в}$ наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [4, 8]. Якщо в довідкових матеріалах наведені інтервальні значення $k_{в}$, то для розрахунку приймають його найбільше значення.

Числові значення коефіцієнтів розрахункових активних навантажень $K_{р.а}$ на другому рівні електропостачання наводяться у відповідній технічній та довідковій літературі [15].

На другому рівні електропостачання розрахункове силове активне навантаження $P_{р.2}$ і розрахункове силове реактивне навантаження $Q_{р.2}$ для n ЕП в групі визначаються за формулами:

$$P_{р.2} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^n k_{в.i} \cdot p_{ном.i} = K_{р.а} \cdot \sum_{i=1}^n p_{см.i}, \quad (2.16)$$

$$Q_{р.2} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^n k_{в.i} \cdot p_{ном.i} \cdot tg\phi_{ном.i} = K_{р.р} \cdot \sum_{i=1}^n q_{см.i}, \quad (2.17)$$

де $p_{см.i}$, $q_{см.i}$ - середні активна та реактивна потужності за максимально завантаженою зміну i -го ЕП відповідно;

$tg\phi_{ном.i}$ - відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності $\cos \phi_{ном.i}$, яке характерне для даного виду ЕП.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

У формулі (2.17) коефіцієнт розрахункових реактивних навантажень $K_{p,p}$ при числі ефективних ЕП $n_e < 10$ приймається $K_{p,p} = 1,1$, а при $n_e > 10$ приймається $K_{p,p} = 1$.

У випадках, коли розрахункове активне навантаження групи ЕП $P_{p,2}$ менше за номінальну потужність найбільш потужного ЕП групи, слід приймати $P_{p,2} = p_{\text{ном.макс}}$.

Якщо до вузла приєднано до трьох ЕП включно, то розрахункове навантаження приймається рівним сумі їх номінальних потужностей:

$$P_{p,2} = \sum_{i=1}^n p_{\text{ном},i}, \quad (2.18)$$

$$Q_{p,2} = \sum_{i=1}^n q_{\text{ном},i}, \quad (2.19)$$

де $n = 1-3$.

Розрахункове силове повне навантаження на другому рівні електропостачання визначається так:

$$S_{p,2} = \sqrt{P_{p,2}^2 + Q_{p,2}^2}, \quad (2.20)$$

При цьому розрахунковий струм:

$$I_{p,2} = \frac{S_{p,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (2.21)$$

2.3. Навантаження загального електричного освітлення

Електричне освітлення виробничих приміщень є загальним рівномірним освітленням і виконується світильниками, які розподіляють рівномірно між окремими фазами трифазної електричної мережі. Тому електричне освітлення можна розглядати як трифазне навантаження.

Розрахункове навантаження загального електричного освітлення поверху адмінбудівлі визначається методом коефіцієнта попиту [1, 12, 18], але для цього слід розрахувати встановлене (номінальне) навантаження

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загального освітлення поверху адмінбудівлі $P_{уст.0}$, яке більш точно визначається світлотехнічним розрахунком (методом коефіцієнта використання світлового потоку). У попередніх розрахунках встановлене (номінальне) навантаження загального освітлення цеху можна визначити за формулою:

$$P_{уст.0} = k \cdot p_{п.о} \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (2.22)$$

де k - коефіцієнт, який враховує потужність пускових приладів залежно від джерела світла (для ламп розжарювання приймається $k = 1,0$; для ламп типу ДРЛ $k = 1,1$; для ЛЛ низького тиску стартерних $k = 1,2$, безстартерних - $k = 1,35$);

$p_{п.о}$ - питома установа потужність загального освітлення цеху, Вт/м²
 F - площа, яка підлягає освітленню, м² (розміри беруться з плану).

При виборі джерела світла для загального внутрішнього освітлення слід використовувати переважно газорозрядні лампи з найбільшою світловою віддачею.

В нашому випадку, використаємо навантаження загального освітлення поверху адмінбудівлі, отримане при розподіленні використовуваних проєктованих світильників по приміщеннях.

Освітлення поверху адмінбудівлі розподілене на 7 груп, аварійне освітлення, як і освітлення сходових клітин даним проєктом не враховується, так як підлягає проєктуванню комплексно по всій будівлі, а не по окремому поверху. Також слід зауважити, що використовувані у проєкті світлодіодні освітлювальні прилади мають можливість постачатися з вбудованими блоками аварійного живлення, яких достатньо для підтримання роботи світильника на час достатній для евакуації персоналу із приміщень у випадку раптового зникнення напруги у мережі в темну пору доби.

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Розрахункове активне навантаження загального освітлення визначається як:

$$P_{P.O} = K_{П.О} \cdot P_{уст.О}, \quad (2.23)$$

де $K_{П.О}$ - коефіцієнт попиту загального освітлення.

Для виробничих будівель, що складаються з окремих приміщень, приймається коефіцієнт попиту загального освітлення $K_{П.О} = 0,85$, для окремих великих прогонів - $K_{П.О} = 0,95$, для невеликих виробничих будівель - $K_{П.О} = 1$.

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення визначається так:

$$Q_{P.O} = P_{P.O} \cdot tg\phi_0, \quad (2.24)$$

де $tg\phi_0$ відповідає значенню коефіцієнта потужності $cos\phi_0$ залежно від виду (типу) джерела світла. При цьому коефіцієнт активної потужності для ламп розжарювання приймається рівним $cos\phi_0 = 1,0$, для ЛЛ низького тиску $cos\phi_0 = 0,95$, для ЛЛ високого тиску типу ДРЛ $cos\phi_0 = 0,5$.

Розрахункове повне навантаження загального освітлення поверху адмінбудівлі визначається за формулою:

$$S_{P.O} = \sqrt{P_{P.O}^2 + Q_{P.O}^2}. \quad (2.25)$$

При цьому розрахунковий струм визначається як:

$$I_{P.O} = \frac{S_{P.O}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (2.26)$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Визначення розрахункового навантаження загального електричного освітлення поверху адмінбудівлі

- встановлена потужність освітлювальних приладів 1,808 кВт.
- як джерела світла приймаються лампи світлодіодні світильники з електронними вбудованими джерелами живлення.

Розрахунок.

Установлене (номінальне) навантаження загального освітлення визначається за формулою (2.31)

$$P_{уст.0} = 1,808 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт попиту загального освітлення приймається для невеликих виробничих будівель $K_{П.0} = 1$.

Розрахункове активне навантаження загального освітлення визначається за формулою (2.32)

$$P_{P.0} = 1 \cdot 1,808 = 1,808 \text{ кВт.}$$

Для світлодіодних світильників приймається паспортний коефіцієнт активної потужності $\cos \phi_0 = 0,95$, якому відповідає коефіцієнт реактивної потужності $\operatorname{tg} \phi_0 = 0,33$.

Розрахункове реактивне навантаження загального освітлення цеху визначається за формулою (2.33)

$$Q_{P.0} = 1,808 \cdot 0,33 = 0,594 \text{ кВАр.}$$

Розрахункове повне навантаження загального освітлення визначається за формулою (2.34)

$$S_{P.0} = \sqrt{1,808^2 + 0,594^2} = 1,9 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм загального освітлення визначається за формулою (2.35)

$$I_{P.0} = \frac{1,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2,89 \text{ А.}$$

Результати розрахунків навантажень по розподільчій шафі ШР-3 наводяться в таблиці 2.2.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків електричних навантажень

Найменування вузла, номер ЕП	Найменування ЕП	Кількість ЕП, п	Номінальна потужність, кВт		К-м використання Ки	Коефіцієнти потужності	
			одного	загальна		cos φ	tan φ
1	2	3	4	5	6	7	8
PK1-PK3	Розетки підключення комп'ютерної техніки	8	0,5	4	0,85	0,85	0,62
PK4-PK6	Розетки підключення комп'ютерної техніки	8	0,5	4	0,85	0,85	0,62
PK7-PK10	Розетки підключення комп'ютерної техніки	10	0,5	5	0,85	0,85	0,62
PK11-PK13	Розетки підключення комп'ютерної техніки	6	0,5	3	0,85	0,85	0,62
PK14-PK18	Розетки підключення комп'ютерної техніки	12	0,5	6	0,85	0,85	0,62
PK19-PK22	Розетки підключення комп'ютерної техніки	9	0,5	4,5	0,85	0,85	0,62
РПМ	Розетка для пральної машини	1	2,4	2,4	0,5	0,80	0,75
РП1-РП5	Розетки підключення побутових приладів	5	0,2	1	0,8	0,80	0,75
РП6-РП8	Розетки підключення побутових приладів	3	0,2	0,6	0,8	0,80	0,75
РП9-РП13	Розетки підключення побутових приладів	5	0,2	1	0,8	0,80	0,75
РП9-РП13	Розетки підключення побутових приладів	4	0,2	0,8	0,8	0,80	0,75
РГ1-РГ9	Розетки підключення господарчої техніки	9	0,1	0,9	0,5	0,80	0,75
РГ10-РГ19	Розетки підключення господарчої техніки	10	0,1	1	0,5	0,80	0,75
K1	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
K2	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
K3	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
K4	Кондиціонер	1	3	3	0,7	0,80	0,75
K5	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
K6	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
K7	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
K8	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
K9	Кондиціонер	1	2	2	0,7	0,80	0,75
V1-V3	Вентилятор	3	0,15	0,45	0,7	0,80	0,75
PC1	Рукосушка	1	1,2	1,2	0,6	0,90	0,48
PC1	Рукосушка	1	1,2	1,2	0,6	0,90	0,48
Всього споживачів		104		56,05	0,76		
Робоче освітлення				1,808	1	0,95	0,33
Усього по шафі ШР-3							

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.14.1.140 ПЗ

Арк.

26

Продовження таблиці 2.2

K _{вРн}	K _{вРн} ·f(g)	Ефективна кількість ЕП, n _е	K-м розрахункового	Розрахункова потужність якщо n _е >10 то k=1, якщо n _е <10 то k=1,1			Розрахунковий струм, А
				Активна, кВт	Реактивна, кВАр	Повна, кВА	
9	10	11	12	13	14	15	16
3,40	2,11	8	0,723	2,46	2,11	3,24	14,71
3,40	2,11	8	0,723	2,46	2,11	3,24	14,71
4,25	2,63	10	0,723	3,07	2,90	4,22	19,19
2,55	1,58	6	0,723	1,84	1,58	2,43	11,03
5,10	3,16	12	0,723	3,68	3,48	5,07	23,03
3,83	2,37	9	0,723	2,76	2,37	3,64	16,55
1,20	0,90	1	0,425	0,51	0,90	1,03	4,70
0,80	0,60	5	0,68	0,54	0,60	0,81	3,68
0,48	0,36	3	0,68	0,33	0,36	0,49	2,21
0,80	0,60	5	0,68	0,54	0,60	0,81	3,68
0,64	0,48	4	0,68	0,44	0,48	0,65	2,95
0,45	0,34	9	0,425	0,19	0,34	0,39	1,76
0,50	0,38	10	0,425	0,21	0,41	0,46	2,11
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
2,10	1,58	1	0,718	1,51	1,58	2,18	9,91
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
1,40	1,05	1	0,718	1,00	1,05	1,45	6,61
0,32	0,24	3	0,718	0,23	0,24	0,33	1,49
0,72	0,35	1	0,615	0,44	0,35	0,56	2,56
0,72	0,35	1	0,615	0,44	0,35	0,56	2,56
42,5	28,52	30	1,15	48,82	31,37	58,03	88,17
1,808	0,594			1,808	0,594	1,90	2,89
				50,63	31,97	59,87	90,97

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 5.8.14.1.140 ПЗ

Арк.

27

2.5. Розрахунок пікових струмів

Піковий струм групи ЕП напругою до 1 кВ визначається як [8]

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + \sum_1^{n-1} I'_{ном} , \quad (2.27)$$

де $I_{пyск.макс}$ - найбільший з пускових струмів одного ЕП у групі за паспортними даними;

$\sum_1^{n-1} I'_{ном}$ - сумарний номінальний струм групи ЕП без урахування номінального струму найбільшого за потужністю ЕП.

Піковий струм від групи більше п'яти ЕП напругою до 1 кВ при активно-індуктивному навантаженні з достатньою точністю можна визначити як арифметичну суму найбільшого з пускових струмів ЕП у групі та розрахункового струму всіх ЕП групи без номінального струму ЕП з найбільшим пусковим струмом при $TВ = 1$ [3]

$$I_{пik} = I_{пyск.макс} + (I_{p.2} - k_B \cdot I_{ном.макс}), \quad (2.28)$$

де $I_{p.2}$ - розрахунковий струм усіх ЕП групи (розрахунковий струм другого рівня електропостачання);

k_B - коефіцієнт використання ЕП з найбільшим пусковим струмом;

$I_{ном.макс}$ - номінальний струм ЕП з найбільшим пусковим струмом при $TВ = 1$.

Найбільші пускові струми ЕП $I_{пyск.макс}$ для даної групи вибираються з таблиці 2.1.

Піковий струм групи ЕД, які вмикаються одночасно, дорівнює сумі пускових струмів цих ЕП.

Пікова (пускова) потужність визначається так:

$$S_{пik(пyск)} = \sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot I_{пik(пyск)} , \quad (2.29)$$

де $I_{пik}$ - піковий струм, який визначається за формулами (2.40) і (2.41), а пусковий струм $I_{пyск}$ за формулою (2.12).

Розрахунок пікових струмів від ЕП радіальної лінії до ШР-3 для схеми.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Найпотужніший електроприймач, що заживлений від ШР-3 кондиціонер К4 з номінальною потужністю $P_{ном} = 3$ кВт, коефіцієнт активної потужності $\cos \phi = 0,8$, коефіцієнт використання $k_B = 0,7$.

Номінальний струм ЕП з найбільшим пусковим струмом при $TB = 1$ і за відсутності паспортних даних ЕП для цієї групи ЕП визначається за формулою (2.11)

$$I_{ном.макс} = \frac{3}{0,22 \cdot 0,8 \cdot 0,7} = 24,35 \text{ А,}$$

а його пусковий струм за формулою (2.12)

$$I_{пуск.макс} = 3 \cdot 24,35 = 73,05 \text{ А.}$$

З підрозділу 2.2 розрахунковий струм другого рівня електропостачання для ШР-3 $I_{p.2} = 90,97 \text{ А}$.

Піковий струм від групи більше п'яти ЕП визначається за формулою (2.41)

$$I_{пик} = 73,05 + (90,97 - 0,7 \cdot 24,35) = 148,68 \text{ А.}$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок пікових навантажень

Назва	Дані найпотужнішого ЕП		Струм розрах I_{p2} , А	Коеф. використання	Піковий струм $I_{пик}$, А
	Струм ном $I_{ном.макс}$, А	Пусковий струм $I_{пуск.макс}$, А			
ШР-3	24,35	73,05	90,97	0,70	146,98

3. Вибір перерізу провідників

У даній роботі вибору підлягають перерізи таких провідників:

- кабельна лінія силової живильної мережі до 0,4кВ від РУ-0,4кВ Електрощитової до проектованої шафи ШР-3;
- кабелі розподільної мережі від ШР-3 до ЕП.

Вибір перерізу провідників, як і параметрів інших елементів силової мережі, має відповідати їх роботі в нормальному, форсованому (перевантаження) і аварійному (КЗ) режимах СЕП.

Вибір перерізу провідників у загальному випадку визначається за економічною густиною струму, нагріванням, втратами й відхиленнями напруги, електродинамічною стійкістю й механічною міцністю (природно, що ізоляція провідників має відповідати класу напруги) [8, 14].

3.1. Вибір перерізу провідників мережі живлення 0,4 кВ

Основною умовою вибору перерізу провідників є величина нагрівання їх електричним струмом у нормальному, форсованому та аварійному режимах. Якщо температура нагрівання перевищить допустиму, то залежно від величини перевищення й тривалості часу елемент може бути пошкоджений, що спричинить порушення нормальної роботи системи, а в гіршому випадку (загорання ізоляції) може призвести до пожежі. Тому для всіх видів провідників та умов їх застосування головним у виборі перерізу є нагрівання, яке визначається двома ефектами теплового впливу: максимально допустимою температурою та тепловим зносом ізоляції для даного режиму й класу ізоляції.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як критерій допустимості того чи іншого режиму за нагріванням використовують сумарний вплив на строк служби провідника максимальної температури й тривалості зносу ізоляції за розглянутий період. При різких піках навантаження більшу небезпеку становить можливість перевищення максимально допустимої температури, якщо графік навантаження рівномірний, більшу вагу має складова теплового зносу ізоляції. Гранично допустима температура нагрівання провідників наведена в таблиці 4.1.

3.2. Вибір перерізу кабелів

Вибір перерізу кабелю при нагріванні в нормальному режимі полягає у визначенні такого мінімального перерізу, який допускає струм не менше розрахункового:

$$I'_{\text{дон}} \geq I_{p,2} \cdot A, \quad (3.1)$$

де $I_{p,2}$ - розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання.

Допустимий тривалий струм для кабелів з врахуванням умов прокладення та відхилення параметрів навколишнього середовища від стандартних умов при їх довготривалому характері визначається з урахуванням коефіцієнта поправки $K_{\text{нопр}}$ так:

$$I'_{\text{дон}} = K_{\text{сер}} \cdot K_{\text{нр}} \cdot I_{\text{дон}} \cdot A, \quad (3.2)$$

де $K_{\text{сер}}$ - поправочний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, якщо вона відмінна від стандартної (таблиця 1.3.3 ПУЕ);

$K_{\text{нр}}$ - коефіцієнт поправки на кількість кабелів, що лежать поруч у землі (таблиця 1.3.26 ПУЕ);

$I_{\text{дон}}$ - допустимий тривалий струм провідника стандартного перерізу для стандартних умов (для однієї окремої лінії; стандартних температур для землі та води +15°C і +25°C для повітря) залежно від матеріалу жил, їх ізоляції, способу прокладання, A (таблиці).

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища $K_{сер}$ можна також обчислити за формулою:

$$K_{сер} = \sqrt{\frac{T_{ж.н} - T_{сер}}{T_{ж.н} - T_{сер.н}}}, \quad (3.3)$$

де $T_{ж.н}$, $T_{сер.н}$ - нормовані тривало допустимі температури жили та середовища відповідно, ($T_{ж.н}$ наведено в таблиці 3.1);

$T_{сер}$ - фактична температура навколишнього середовища (у даній роботі приймається залежно від реальних даних).

Таблиця 3.1 – Допустимі температури провідників у нормальному, форсованому та аварійному режимах

Вид провідника	Допустима температура жили $T_{ж.н}$, °C		
	тривала за нормами	короткотривала при перевантаженнях	гранична при коротких замиканнях
Кабелі з паперовою просоченою ізоляцією:			
- до 1 кВ	80	125	200
- 6 кВ	65	100	200
- 10 кВ	60	90	200
Кабелі і проводи з ізоляцією:			
- гумовою звичайною	55	100	150
- гумовою теплостійкою	65	110	150
- полівінілхлоридною	70	90	150
- поліетиленовою	70	80	120

Для кабелів, прокладених у повітрі всередині або поза цехом, за будь-якої їх кількості коефіцієнт поправки $K_{пр} = 1$, нормована температура середовища $T_{сер} = 25$ °C.

Вибір перерізу лише за умов допустимого нагрівання призводить до великих втрат активної потужності та значних втрат напруги. Для остаточного вибору перерізу кабелю слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за умов допустимої втрати напруги та відповідності до захисного апарата.

Форсований режим в електричних мережах напругою до 1 кВ буває досить рідко.

Втрата напруги в кабелях у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{кб} = \frac{P_{р.2} \cdot R_{кб} + Q_{р.2} \cdot X_{кб}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \% \quad (3.4)$$

де $P_{р.2}$ і $Q_{р.2}$ - максимальні розрахункові активне і реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання відповідно, кВт і кВАр;

$R_{кб}$ і $X_{кб}$ - активний і реактивний опори кабелю відповідно, Ом;

$U_{ном}$ - номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори кабелю обчислюють за формулами:

$$R_{кб} = r_n \cdot l_{кб}, \quad (3.5)$$

$$X_{кб} = x_n \cdot l_{кб}, \quad (3.6)$$

де r_n і x_n - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

$l_{кб}$ - довжина кабелю, км.

Таким чином, остаточно за умовами нагрівання вибирається лише той переріз кабелю, для якого тривалий допустимий струм буде більший у формулі (3.2), а також виконуються умови допустимої втрати напруги й відповідності до захисного апарата.

При виборі перерізу кабелів іноді замість одного кабелю більшого перерізу доцільно вибрати два (навіть три) кабелі меншого перерізу, що полегшує умови прокладення. Крім того, допустимий струм кабелю більшого перерізу менше ніж у двох (трьох) кабелів такого самого сумарного перерізу [2].

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Розрахунок перерізів кабелів мережі живлення

Для кабелю марки ВВГ з полівінілхлоридною ізоляцією з таблиці 4.1 нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, нормована температура середовища при прокладці в повітрі $T_{сеп.н} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Тоді за формулою (3.3) коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища:

$$K_{сеп} = \sqrt{\frac{70-20}{70-25}} = 1,05.$$

З таблиці 1.3.3 ПУЭ коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища також $K_{сеп} = 1,05$.

При прокладці кабелю всередині приміщень адмінбудівлі коефіцієнт поправки $K_{пр} = 1$.

З таблиці 2.2 розрахунковий струм 2-го рівня електропостачання лінії, яка живить ШР-3, $I_{р.2} = 90,97 \text{ A}$.

З таблиці 1.3.6 [2] для п'ятижильного кабелю при прокладенні в повітрі зі стандартним перерізом струмопровідної жили $S_{СТ} = 16 \text{ мм}^2$ допустимий струм $I_{доп} = 115 \text{ A}$. За формулою (3.2)

$$I'_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot 115 = 120,75 \text{ A}$$

Таким чином, $I'_{доп} = 120,75 \text{ A} \geq I_{р.2} = 90,97 \text{ A}$.

Умова виконується.

З таблиці 2.2 розрахункове активне навантаження 2-го рівня електропостачання $P_{р.2} = 50,63 \text{ кВт}$, розрахункове реактивне навантаження 2-го рівня електропостачання $Q_{р.2} = 31,97 \text{ кВт}$.

З таблиці [2] для кабелю з стандартним перерізом мідної струмопровідної жили $S_{СТ} = 16 \text{ мм}^2$ приймаються такі питомі опори кабелю: $r_{п} = 1,16 \text{ мОм/м}$, $x_{п} = 0,095 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю $l_{кб} = 19 \text{ м}$. Тоді за формулами (3.5) і (3.6)

$$R_{кб} = 1,19 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 0,022 \text{ Ом}.$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_{кб} = 0,095 \cdot 19 \cdot 10^{-3} = 0,002 \text{ Ом.}$$

За формулою (3.4)

$$\Delta U_{кб} = \frac{50,63 \cdot 0,022 + 31,97 \cdot 0,002}{10 \cdot 0,22^2} = 2,42\%.$$

Оскільки величина втрати напруги в кабелі не перевищує допустимої (5 %), то переріз кабелю вибраний правильно.

Таким чином, вибирається п'ятижильний кабель ВВГнгд-5х16.

Результати розрахунків зведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Вибір перерізу кабелів мережі живлення

Кабель	$S_{см}, \text{мм}^2$	$I'_{доп}, \text{А}$	$I_{р,2}, \text{А}$	$\Delta U_{кб}, \%$	Тип кабелю	Довжина, м
До ШР-3	16	120,75	90,97	2,42	ВВГнгд 5х16	19

3.4. Вибір перерізу провідників розподільної мережі 0,4 кВ

В електричних мережах напругою до 1 кВ переріз проводу (кабелю) розподільних мереж завжди вибирають за умовою нагрівання в нормальному режимі за формулою:

$$I'_{доп} \geq I_{р,1}, \text{А}, \quad (3.7)$$

де $I_{р,1}$ - розрахунковий струм 1-го рівня електропостачання (номінальний струм ЕП).

Допустимий тривалий струм для проводів $I_{доп}$ з полівінілхлоридною ізоляцією з мідними жилами залежно від перерізу, способу прокладання, кількості проводів у трубі наводиться в таблиці 1.3.5 ПУЕ.

Для остаточного вибору перерізу проводу слід провести всі перевірки відповідно до вимог ПУЕ: за механічною міцністю, допустимою втратою напруги. Переріз провідників приймається найбільшим за вище наведеними вимогами.

За умовою механічної міцності мінімальний переріз алюмінієвих проводів - 2,5 мм², мідних - 1,5 мм².

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрата напруги в проводах у відсотках визначається як:

$$\Delta U_{np} = \frac{p_{P.1} \cdot R_{np} + q_{P.1} \cdot X_{np}}{10 \cdot U_{ном}^2}, \% \quad (3.8)$$

де $p_{P.1}$ і $q_{P.1}$ - розрахункові активне і реактивне навантаження 1-го рівня електропостачання ЕП відповідно, кВт і квар;

R_{np} і X_{np} - активний і реактивний опори проводів відповідно, Ом;

$U_{ном}$ - номінальна напруга електричної мережі, кВ.

Активний і реактивний опори проводів обчислюють за формулами:

$$R_{np} = r_n \cdot l_{np}, \quad (3.9)$$

$$X_{np} = x_n \cdot l_{np}, \quad (3.10)$$

де r_n і x_n - активний і реактивний питомі опори кабелю відповідно, Ом/км (наводяться в довідниках);

l_{np} - довжина кабелю, км.

3.5. Вибір кабелів від ШР-3 до ЕП

Приймаємо марку п'ятижильного кабелю ВВГнгд (мідні жили з полівінілхлоридною ізоляцією в полівінілхлоридній оболонці), прокладення кабелів у гофрованих трубах за підвісними стелями та у штробах стін, фактичну температуру навколишнього середовища $T_{сер} = 25^\circ\text{C}$.

Для кабелю марки ВВГнгд з полівінілхлоридною ізоляцією з таблиці 4.1 нормована тривало допустима температура жили $T_{ж.н} = 70^\circ\text{C}$, нормована температура середовища при прокладенні в повітрі $T_{сер.н} = 20^\circ\text{C}$. Тоді за формулою (4.5) коефіцієнт поправки на температуру навколишнього середовища $K_{сер} = 1,05$.

При прокладенні кабелю всередині приміщень адмінбудівлі в гофрованих трубах коефіцієнт умов середовища $K_{пр} = 1$, бо в довідкових таблицях ураховуються умови прокладки залежно від кількості проводів у трубі.

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Для кондиціонеру К4 номінальний струм становить

$$I_{ном.К4} = \frac{3}{0,22 \cdot 0,8} = 17,04 \text{ А.}$$

З каталогу заводу виробника Южкабель (часто буває, що дані на конкретну продукцію конкретного виробника відрізняються від значень ПУЕ, тому прийmemo менший допустимий струм), для ВВГнгд-5х2,5 допустимий струм для стандартних умов $I_{доп} = 38 \text{ А}$. Допустимий струм з урахуванням умов навколишнього середовища й умов прокладення визначається за формулою (3.2)

$$I'_{доп} = 1,05 \cdot 1 \cdot 38 = 39,9 \text{ А.}$$

За формулою (3.7)

$$I'_{доп} = 39,9 \text{ А} \geq I_{р.1} = I_{ном.д} = 17,04 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Умова механічної міцності також виконується ($2,5 \text{ мм}^2 \geq 1,5 \text{ мм}^2$).

З таблиці [2] для кабелів з мідною струмопровідною жилою $S_{ст} = 2,5 \text{ мм}^2$ приймаються такі питомі опори: $r_{п} = 7,4 \text{ мОм/м}$, $x_n = 0,095 \text{ мОм/м}$. Довжина кабелю до кондиціонера К4 $l_{пр} = 35 \text{ м}$. Тоді за формулами (3.9) і (3.10)

$$R_{пр} = 7,4 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 0,259 \text{ Ом.}$$

$$X_{пр} = 0,095 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 0,004 \text{ Ом.}$$

Для кондиціонерів при $tg \phi_{ном.д} = 0,75$, який відповідає $cos \phi_{ном.д} = 0,8$, за формулою (2.8) розрахункове реактивне навантаження першого рівня електропостачання:

$$q_{р.1} = 3 \cdot 0,75 = 2,25 \text{ кВАр.}$$

Вибраний стандартний переріз проводу перевіряється на втрату напруги за формулою (3.8)

$$\Delta U_{кб} = \frac{3 \cdot 0,259 + 2,25 \cdot 0,004}{10 \cdot 0,22^2} = 1,63\%.$$

Оскільки величина втрат напруги в проводі не перевищує допустимої (5 %), то переріз проводу вибраний правильно.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Переріз проводів розподільної мережі до інших ЕП вибирається аналогічно. Перевірка на втрати напруги, вибір діаметру сталевих труб також здійснюється аналогічно.

Результати розрахунків наводяться в таблиці 3.3.

План розміщення електричної мережі 3-го поверху адмінбудівлі наведений у додатках.

Таблиця 3.3 - Вибір перерізу проводів розподільної мережі від ШР-3 до електроприймачів

Лінія до ЕП	I_p, A	$I'_{доп}$	$I_{доп}$	$S_{ст}$	довжина	R	X	$R_{каб}$	$X_{каб}$	втрати	Марка кабелю
Гр.1	21,39	39,9	38	2,5	52	7,4	0,116	0,385	0,006	3,21	ВВГнгд-3х2,5
Гр.2	21,39	39,9	38	2,5	35	7,4	0,116	0,259	0,004	2,16	ВВГнгд-3х2,5
Гр.3	26,74	39,9	38	2,5	32	7,4	0,116	0,237	0,004	2,47	ВВГнгд-3х2,5
Гр.4	16,04	39,9	38	2,5	28	7,4	0,116	0,207	0,003	1,30	ВВГнгд-3х2,5
Гр.5	32,09	39,9	38	2,5	42	7,4	0,116	0,311	0,005	3,89	ВВГнгд-3х2,5
Гр.6	24,06	39,9	38	2,5	41	7,4	0,116	0,303	0,005	2,85	ВВГнгд-3х2,5
Гр.7	13,64	39,9	38	2,5	41	7,4	0,116	0,303	0,005	1,52	ВВГнгд-3х2,5
Гр.8	5,68	39,9	38	2,5	68	7,4	0,116	0,503	0,008	1,05	ВВГнгд-3х2,5
Гр.9	3,41	39,9	38	2,5	43	7,4	0,116	0,318	0,005	0,40	ВВГнгд-3х2,5
Гр.10	5,68	39,9	38	2,5	50	7,4	0,116	0,370	0,006	0,77	ВВГнгд-3х2,5
Гр.11	4,55	39,9	38	2,5	57	7,4	0,116	0,422	0,007	0,71	ВВГнгд-3х2,5
Гр.12	5,11	39,9	38	2,5	74	7,4	0,116	0,548	0,009	1,03	ВВГнгд-3х2,5
Гр.13	5,68	39,9	38	2,5	63	7,4	0,116	0,466	0,007	0,97	ВВГнгд-3х2,5
Н-К1	11,36	39,9	38	2,5	44	7,4	0,116	0,326	0,005	1,36	ВВГнгд-3х2,5
Н-К2	11,36	39,9	38	2,5	40	7,4	0,116	0,296	0,005	1,24	ВВГнгд-3х2,5
Н-К3	11,36	39,9	38	2,5	35	7,4	0,116	0,259	0,004	1,08	ВВГнгд-3х2,5
Н-К4	17,05	39,9	38	2,5	35	7,4	0,116	0,259	0,004	1,62	ВВГнгд-3х2,5
Н-К5	11,36	39,9	38	2,5	19	7,4	0,116	0,141	0,002	0,59	ВВГнгд-3х2,5
Н-К6	11,36	39,9	38	2,5	36	7,4	0,116	0,266	0,004	1,11	ВВГнгд-3х2,5
Н-К7	11,36	39,9	38	2,5	33	7,4	0,116	0,244	0,004	1,02	ВВГнгд-3х2,5
Н-К8	11,36	39,9	38	2,5	26	7,4	0,116	0,192	0,003	0,80	ВВГнгд-3х2,5
Н-К9	11,36	39,9	38	2,5	16	7,4	0,116	0,118	0,002	0,50	ВВГнгд-3х2,5
Гр.14	2,56	39,9	38	2,5	60	7,4	0,116	0,444	0,007	0,42	ВВГнгд-3х2,5
Н-РС1	6,06	39,9	38	2,5	15	7,4	0,116	0,111	0,002	0,28	ВВГнгд-3х2,5
Н-РС2	6,06	39,9	38	2,5	14	7,4	0,116	0,104	0,002	0,26	ВВГнгд-3х2,5
Гр.15	0,36	28,35	27	1,5	91	12,3	0,126	1,119	0,011	0,84	ВВГнгд-3х1,5
Гр.16	0,36	28,35	27	1,5	67	12,3	0,126	0,824	0,008	0,62	ВВГнгд-3х1,5
Гр.17	0,164	28,35	27	1,5	38	12,3	0,126	0,467	0,005	0,16	ВВГнгд-3х1,5
Гр.18	0,324	28,35	27	1,5	78	12,3	0,126	0,959	0,010	0,65	ВВГнгд-3х1,5
Гр.19	0,288	28,35	27	1,5	51	12,3	0,126	0,627	0,006	0,38	ВВГнгд-3х1,5
Гр.20	0,152	28,35	27	1,5	39	12,3	0,126	0,480	0,005	0,15	ВВГнгд-3х1,5
Гр.21	0,16	28,35	27	1,5	58	12,3	0,126	0,713	0,007	0,24	ВВГнгд-3х1,5

4. Розрахунок струмів короткого замикання

Елементи СЕП, які потрапили в короткозамкнутий ланцюг, зазнають термічного й електродинамічного впливу струмів. Якщо величина цього впливу перевищує допустиму, елемент ушкоджується і завдає СЕП збитків. Щоб запобігти цьому, треба:

- а) визначити величину струмів КЗ;
- б) перевірити допустимість цих струмів для вибраних ЕА і струмопровідних частин (якщо струми виявляються більші за допустимі, то потрібно вибрати елемент, що має більшу стійкість або обмежити струми шляхом збільшення індуктивного опору ланцюга);
- в) розрахувати захист для селективного вимикання пошкодженої ділянки.

Відповідно до вимог ПУЕ щодо режиму КЗ на стійкість до впливу струмів КЗ в ЕУ до 1 кВ повинні перевірятися розподільні щити, струмопроводи та силові шафи.

Для вибору і перевірки стійкості ЕА і струмопровідних частин до струмів КЗ розрахунку підлягають:

- найбільше початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ $I_{п(0)}$;
- ударний струм i_y трифазного КЗ.

При виборі й перевірці апаратури щодо її стійкості до струмів КЗ розрахунковим вважається максимальний режим, за якого струми КЗ мають максимальні значення.

Для перевірки чутливості розрахункові умови відповідають найменшим значенням струмів КЗ у місці установлення захисту (мінімальний режим роботи живильної енергосистеми, найбільша кількість послідовно ввімкнених елементів між джерелами генерації і точкою КЗ).

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Унаслідок цього для цілей вибору параметрів спрацьовування захисту визначають найбільші $I_{к.макс}$ і для перевірки чутливості найменші $I_{к.мін}$ значення періодичної складової струму в місці КЗ в елементах мережі, для якої проектується захист. Розрахунок здійснюється для початкового моменту часу.

Таким чином, розрахунковим видом КЗ є:

- при виборі ЕА і провідників за їх стійкістю до дії струмів КЗ - трифазне КЗ;
- при виборі захисту - трьох- і однофазні КЗ [2].

4.1. Розрахунок струмів трифазного КЗ

Значення струмів КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ впливають на вибір перерізу проводів і жил кабелів, конструкцію струмопроводів, характеристики комутаційних і захисних апаратів. Тому для забезпечення раціонального проектування електропостачання слід виконати достовірний розрахунок струмів КЗ.

Для вибору апаратури і захистів, перевірки селективності їх дії визначають максимальний струм трифазного металевого КЗ, у цьому випадку перехідні опори дуги не враховують. Для перевірки чутливості захистів знаходять мінімальний струм КЗ; при цьому враховують усі перехідні опори контактів (рубильників, автоматів, уставних контактів, болтових з'єднань) і опір дуги в місці пошкодження шляхом введення в схему заміщення активного опору.

При розрахунках струмів КЗ в ЕУ змінного струму напругою до 1 кВ допускається:

- 1) застосовувати спрощені методи розрахунків, якщо їх похибка не перевищує 10 %;

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) максимально спростувати та еквівалентувати всю зовнішню мережу щодо місця КЗ, індивідуально враховувати лише автономні джерела та ЕД, які безпосередньо приєднані до місця КЗ;

3) не враховувати струми намагнічування трансформаторів;

4) не враховувати насичення магнітних систем електричних машин;

До особливостей розрахунку струмів КЗ в електричних мережах напругою до 1 кВ можна віднести таке:

- розрахунки доцільно проводити в іменованих одиницях;

- початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного

КЗ можна вважати незмінним $I_{n(0)} = I_k^{(3)}$;

- активні опори елементів ланцюга КЗ мають суттєве значення і можуть навіть перевершувати реактивні.

Методика розрахунку початкового діючого значення періодичної складової струму КЗ залежить від способу електропостачання — від енергосистеми чи від автономного ДЖ.

Розрахунок струмів КЗ починається зі складання розрахункової схеми, схеми заміщення й вибору точок КЗ. При складанні еквівалентних схем заміщення параметри елементів вихідної розрахункової схеми слід приводити до ступеня напруги мережі, на якому знаходиться точка КЗ [2].

Так як відсутні достовірні дані щодо контактів і їх перехідних опорів, то при обчисленні струмів КЗ урахуємо їх умовний сумарний опір у мережах, які живляться від трансформаторів потужністю до 1600 кВА включно, згідно з такими рекомендаціями [4]:

а) на розподільних пристроях НН трансформаторів ПС $-R_{к1} = 15$ мОм;

б) на первинних цехових розподільних пунктах (РЩ, збірках) і на затискачах ЕА, які живляться радіальними лініями від розподільних пристроїв НН ПС або головних магістралей (ШМА) $-R_{к2} = 20$ мОм;

в) на вторинних цехових розподільних пунктах і затискачах ЕА, які живляться від первинних розподільних пунктів $-R_{к3} = 25$ мОм;

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

г) на затискачах ЕА, установлених безпосередньо у ЕП, які живляться від вторинних розподільних пунктів - $R_{к4} = 30 \text{ мОм}$ [2].

Алгоритм визначення струмів трифазного короткого замикання

Визначаємо струм трифазного КЗ у початковий момент часу в електричній мережі напругою 0,38кВ 3-го поверху адмінбудівлі в точках К1, К1', К2, К2' для схеми на рисунку 4.1.

Вихідні дані взяті з попередніх результатів розрахунків і наведені нижче.

Система: $I_{n(0)} = 10 \text{ кА}$, $U_{\text{ном.вн}} = 6 \text{ кВ}$.

Трансформатор типу ТМГ-630/6/0,4: $S_{\text{ном.т}} = 630 \text{ кВА}$; $U_{\text{ном.вн}} = 6 \text{ кВ}$;
 $U_{\text{ном.нн}} = 0,4 \text{ кВ}$.

За відсутності реальних даних про використовувані вимикачі – прийmemo в розрахунок сучасні автоматичні вимикачі вітчизняного виробництва «PROMFACTOR» м. Кривий Ріг:

QF1 АВМ-10: $I_{\text{ном.а}} = 250 \text{ А}$;

QF2 FMC2/3U: $I_{\text{ном.а}} = 160 \text{ А}$;

QF3 FMC1/3U: $I_{\text{ном.а}} = 16 \text{ А}$.

Трансформатори струму:

ТА1 з коефіцієнтом трансформації 300/5;

Кабельні лінії:

Мережа 6 кВ - ААБл-3х70; $l_{к61} = 420\text{м}$;

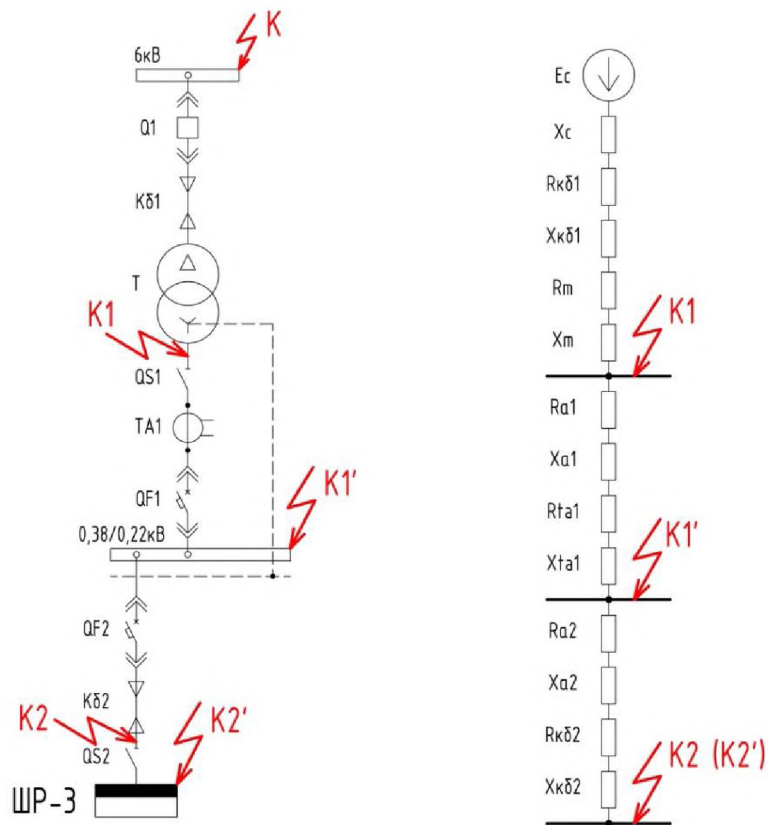
Мережа 0,4 кВ - ААБл-3х70; $l_{к62} = 190\text{м}$;

Кабель до насосу кондиціонера К4 - ВВГнгд-5х2,5; $l_{к62} = 35\text{м}$.

Розрахунок. Базисна напруга ступеня в електричній мережі напругою до 1 кВ

$$U_6 = 1,05 \cdot U_{\text{ном.нн}} = 1,05 \cdot 380 = 400\text{В}.$$

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Розрахункова схема розрахунку струмів трифазного КЗ

Схема заміщення для розрахунку струмів трифазного КЗ

Рисунок 4.1 – Розрахункові схеми

1 етап: Розрахунок параметрів елементів схеми заміщення.

1) Індуктивний опір системи, який приведений до ступеня НН, визначається за формулою:

$$X_C = \frac{U_{ном.серНН}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{к.ВН} \cdot U_{ном.серВН}} = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 6300} = 1,466 \text{ мОм.}$$

2) У таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою 6 кВ (ААБл-3х70) питомі опори такі: $r_{\Pi} = 0,447 \text{ мОм/м}$; $x_{\Pi} = 0,08 \text{ мОм/м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_{кб.1} = r_n \cdot l_{кб.1} \frac{U_{ном.серНН}}{U_{ном.серВН}} = 0,447 \cdot 420 \frac{400}{6000} = 12,516 \text{ мОм,}$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$X_{кб.1} = x_n \cdot l_{кб.1} \frac{U_{ном.серНН}}{U_{ном.серВН}} = 0,08 \cdot 420 \frac{400}{6300} = 2,24 мОм$$

3) За паспортними даними трансформатора ТМГ-630/6/0,4кВ приймаються втрати КЗ $P_{к.ном} = 7,6$ кВт, напруга КЗ $u_k = 5,5$ %. Активний та індуктивний опори прямої послідовності трансформатора, які приведені до ступеня НН, визначаються за формулами:

$$R_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U_{ном.НН}^2}{S_{ном.Т}^2} \cdot 10^6 = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,04 мОм;$$

$$X_T = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{ном.Т}} \right)^2} \cdot \frac{U_{ном.НН}^2}{S_{ном.Т}} \cdot 10^4 =$$

$$= \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 7,6}{630} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,63 мОм$$

4) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF1 (250А) приймається $R_{a.1} = 1,1$ мОм; $X_{a.1} = 0,5$ мОм.

5) З таблиці Н.2 додатка Н [2] для ТС (ТА1) з коефіцієнтом трансформації 300/5 для класу точності 1 приймається

$$R_{та1} = 0,2 мОм; X_{та1} = 0,3 мОм.$$

6) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF2 (160А) приймається $R_{a.2} = 1,3$ мОм; $X_{a.2} = 0,7$ мОм.

7) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (ВВГнгд-5х16) з однаковим перерізом питомі опори такі:

$r_{л} = 1,16$ мОм/м; $x_{л} = 0,095$ мОм/м. Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються за формулами (3.5) і (3.6)

$$R_{кб.2} = r_n \cdot l_{кб.2} = 1,16 \cdot 19 = 22,04 мОм;$$

$$X_{кб.2} = x_n \cdot l_{кб.2} = 0,095 \cdot 19 = 1,805 мОм.$$

8) З таблиці Н.1 додатка Н [2] для автомата QF3 (16А) приймається $R_{a.3} = 7$ мОм; $X_{a.3} = 4,5$ мОм.

9) З таблиці М.11 додатка М [2] для кабельної лінії напругою до 1 кВ (ВВГнгд-3х2,5) з однаковим перерізом жил питомі опори такі:

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$r_{\Pi} = 7,4 \text{ мОм/м}$; $x_{\Pi} = 0,116 \text{ мОм/м}$. Активний та індуктивний опори кабельної лінії визначаються аналогічно за формулами (3.5) і (3.6)

$$R_{кб.3} = r_n \cdot l_{кб.3} = 7,4 \cdot 35 = 259 \text{ мОм};$$

$$X_{кб.3} = x_n \cdot l_{кб.3} = 0,116 \cdot 35 = 4,06 \text{ мОм}.$$

2 етап: Визначення діючого значення періодичної складової струму трифазного КЗ у початковий момент (початкового надперехідного струму) у різних точках схеми.

1) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1. Сумарні опори щодо точки К1 визначаються так:

$$R_{\Sigma K1} = R_{кб1} + R_T = 12,516 + 3,04 = 15,556 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_{кб1} + X_T = 1,466 + 2,24 + 13,63 = 17,34 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = \sqrt{15,556^2 + 17,34^2} = 23,29 \text{ мОм}$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K1(0)} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,29} = 9,91 \text{ кА}.$$

2) Визначення струму трифазного КЗ у точці К1'. Сумарні опори щодо точки К1' визначаються так:

$$R_{\Sigma K1'} = R_{\Sigma K1} + R_{a1} + R_{ta1} + R_{к1} = 15,556 + 1,1 + 0,2 + 15 = 31,86 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1'} = X_{\Sigma K1} + X_{a1} + X_{ta1} = 17,34 + 0,5 + 0,3 = 18,14 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K1'} = \sqrt{31,86^2 + 18,14^2} = 36,66 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K1'(0)} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 36,66} = 6,3 \text{ кА}.$$

3) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2. Сумарні опори щодо точки К2 визначаються так:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{кб2} + R_{к2} = 15,556 + 1,3 + 22,04 + 20 = 59,75 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1'} + X_{a2} + X_{кб2} = 18,14 + 0,7 + 1,805 = 20,44 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{59,75^2 + 20,44^2} = 63,15 \text{ мОм}.$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початкове діюче значення періодичної складової трифазного струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2(0)} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 63,15} = 3,66 \text{ кА.}$$

4) Визначення струму трифазного КЗ у точці К2'.

Сумарні опори щодо точки К2' визначаються так:

$$R_{\Sigma K2'} = R_{\Sigma K1} + R_{a2} + R_{k62} + R_{K3} = 15,556 + 1,3 + 22,04 + 25 = 64,75 \text{ МОм;}$$

$$X_{\Sigma K2'} = X_{\Sigma K2} = 20,44 \text{ МОм;}$$

$$Z_{\Sigma K2'} = \sqrt{R_{\Sigma K2'}^2 + X_{\Sigma K2'}^2} = \sqrt{64,75^2 + 20,44^2} = 67,9 \text{ МОм.}$$

Початкове діюче значення періодичної складової струму при металевому КЗ визначається за формулою:

$$I_{K2'(0)} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K2'}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 67,9} = 3,4 \text{ кА.}$$

5) Визначення струму трифазного КЗ у точці К3.

Так як струмоприймачі – однофазні, в точці К3 значення трифазного струму КЗ не визначається

Результати розрахунку струмів трифазних КЗ у початковий момент часу в електричній мережі 3-го поверху адмінбудівлі в розрахункових точках зведені в таблиці 4.1.

4.2. Розрахунок струмів однофазного КЗ

Однофазні КЗ розраховують для перевірки надійності вимикання лінії в разі пробою ізоляції та появи на корпусі устаткування потенціалу, величина якого небезпечна для життя персоналу. Тому інтерес становить мінімально можлива величина струму однофазного КЗ, яка буде наприкінці ділянки, що захищається, тому що цей струм має бути достатнім для спрацьовування захисту (запобіжника, розчеплювача автомата або вимикача чи запобіжника в ланцюзі 6 кВ, якщо захист у ланцюзі 0,38 кВ нечутливий).

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Якщо потужність живильної енергосистеми значна ($X_c < 0,1X_T$), початкове діюче значення періодичної складової струму однофазного металевого КЗ в електричній мережі напругою до 1 кВ «Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора» рекомендують визначати за формулою

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{\Pi T}}, \quad (4.1)$$

де U_ϕ - фазна напруга мережі, В;

$Z_{\Pi T}$ - повний опір петлі «фаза – нуль» від трансформатора до точки КЗ, обмірюваний при іспитах або знайдений із розрахунків, мОм;

$Z_T^{(1)}$ - повний опір знижувального трансформатора струмам однофазного КЗ, значення якого залежно від потужності та схеми з'єднання трансформаторів приймається з таблиці Н.3 додатка Н[2] або визначається як:

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T})^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T})^2}, \quad (4.2)$$

де R_{1T} і X_{1T} – активний та індуктивний опори трансформатора струмам прямої послідовності, мОм;

$R_{2T} = R_{1T}$ і $X_{2T} = X_{1T}$ – те саме зворотної послідовності, мОм;

R_{0T} і X_{0T} — те саме нульової послідовності, мОм.

Опори трансформатора струмам нульової послідовності значною мірою залежать від схеми з'єднання обмоток трансформатора, тому рекомендується схема «трикутник – зірка з нейтраллю» (Δ/Y_n), у якій порівняно зі схемою «зірка – зірка з нейтраллю» (Y/Y_n) струм однофазного КЗ на шинах НН (до 1 кВ) у 3 рази більший, що сприяє надійному спрацьовуванню захисних апаратів (автоматів).

Якщо живильна енергосистема має обмежену потужність, то значення $Z_T^{(1)}$ збільшується з урахуванням опору енергосистеми [21]

$$Z_T^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_C)^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_C)^2}. \quad (4.3)$$

Опір петлі «фаза – нуль» для ланцюга з п послідовно з'єднаних ділянок визначається за формулою:

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{ПТ} = \sum_{i=1}^n z_{n.nm.i} \cdot l_i, \quad (4.4)$$

де $z_{п.пт.i}$ – питомий опір петлі «фаза – нуль» кожної наступної ділянки від трансформатора до точки КЗ, мОм/м (величини $z_{n.nm.i}$ наведені в таблицях Н.6-Н.8 додатка Н [2], у довідкових та інших джерелах);

l_i – довжина i -ї ділянки, м.

Опори контактів шин, апаратів, ТС не враховуються, бо обчислення за формулою (4.1) дає деякий запас для струму внаслідок арифметичного додавання $Z_T^{(1)}/3$ і $Z_{ПТ}$.

Свинцеві оболонки кабелів як заземлюючі провідники використовувати не дозволяється. Для вибухонебезпечних приміщень на допоміжні провідники занулення (алюмінієві оболонки кабелів, сталеві смуги) у розрахунковій схемі не зважають.

Для більш точного визначення струмів однофазних КЗ, крім опорів трансформатора й зовнішньої живильної мережі, ураховують сумарний активний і індуктивний опори петлі «фаза-нуль», що містять опори шинопроводів, апаратів і перехідних опорів, починаючи від нейтралі знижувального трансформатора, а також опір дуги.

З урахуванням опору мережі понад 1 кВ (опорів трансформатора і живильної мережі X_c і R_c), перехідних активних опорів контактів і опору дуги фактичне значення струму однофазного КЗ буде меншим, тому в разі необхідності більш точного визначення струму (наприклад, якщо його величина близька до уставок спрацьовування захисту) за будь-якої потужності живильної енергосистеми користуються формулою [21]

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_\Sigma^{(1)}}{3} + Z_{ПТ}}. \quad (4.5)$$

Величина $Z_\Sigma^{(1)}$ з урахуванням перехідних активних опорів контактів $R_k = 15$ мОм обчислюється як [2]

$$Z_\Sigma^{(1)} = \sqrt{(R_{1T} + R_{2T} + R_{0T} + 2R_C + 3R_{П})^2 + (X_{1T} + X_{2T} + X_{0T} + 2X_C)^2}. \quad (4.6)$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо струм однофазного КЗ у точках К1, К2 і К3 для схеми на рисунку 4.2.

Трансформатор типу ТМГ-630/6, схема з'єднання обмоток трансформатора «трикутник – зірка з нейтраллю» (Δ / Y_n).

Кабельні лінії:

Кб2: ВВГнгд-5х16; $I_{кб2} = 19\text{м}$;

Кабель до кондиціонера К4: ВВГнгд-3х2,5; $I_{кб3} = 44\text{м}$.

Розрахунок. З таблиці Н3 додатка Н [2] для трансформатора з номінальною потужністю 630 кВА і схемою з'єднання обмоток трансформатора «трикутник – зірка з нейтраллю» (Δ / Y_n) повний опір струму однофазного КЗ $Z_T^{(1)} = 42 \text{ мОм}$. За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ в точці К1:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{42}{3}} = 15,714 \text{ кА}.$$

З таблиці Н7 додатка Н [2] повні питомі опори $Z_{п.пт}$ ланцюга «фаза – нуль» для чотирижильних кабелів та проводів з мідними жилами такі: $Z_{п.пт.кб2} = 2,74 \text{ мОм/м}$; $Z_{п.пт.кб3} = 17,43 \text{ мОм/м}$.

Повний опір петлі «фаза-нуль» до точки К2 визначається за формулою:

$$Z_{пт.2} = Z_{пт.кб2};$$

$$Z_{пт.2} = 2,74 \cdot 19 = 52,06 \text{ мОм}.$$

Струм однофазного металевого КЗ у точці К2:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 52,06} = 3,33 \text{ кА}.$$

Повний опір петлі «фаза – нуль» до точки К3 визначається за формулою:

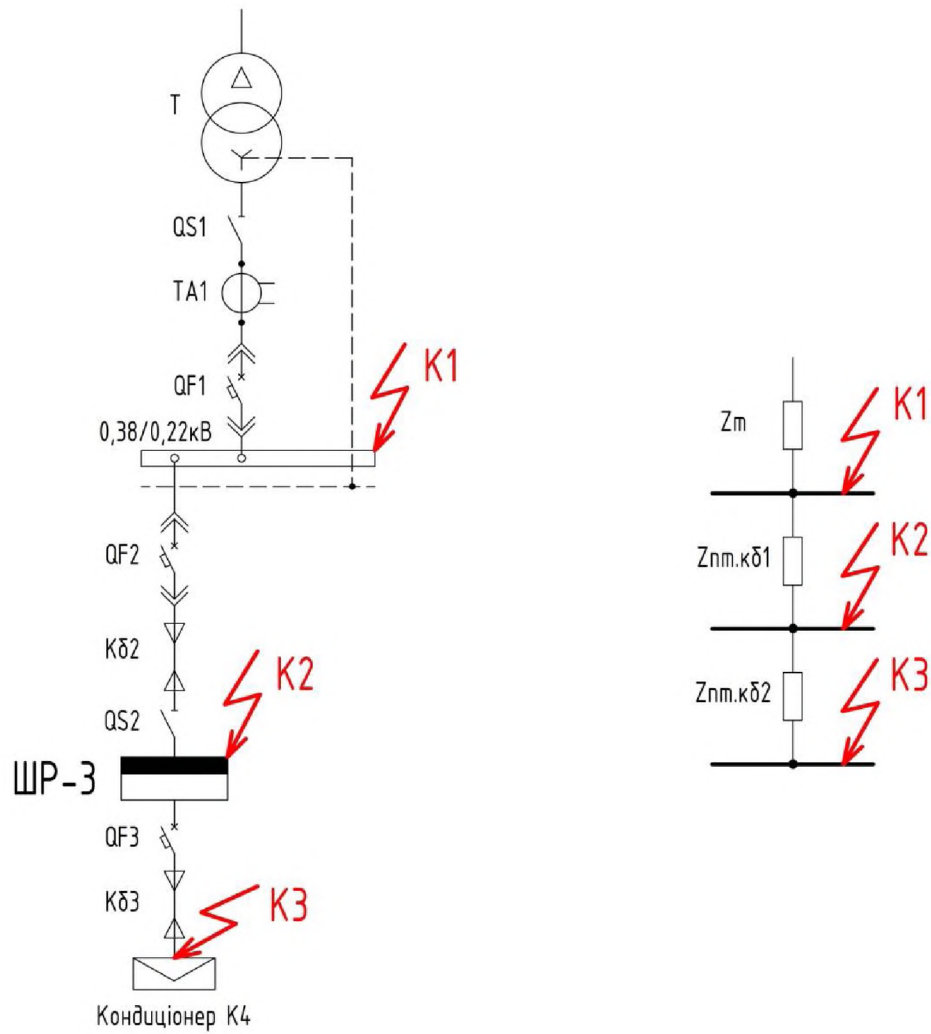
$$Z_{пт.3} = Z_{пт.кб2} + Z_{пт.кб3};$$

$$Z_{пт.3} = 52,06 + 17,43 \cdot 35 = 662,11 \text{ мОм}.$$

За формулою (5.25) струм однофазного металевого КЗ у точці К3:

$$I_K^{(1)} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 662,11} = 0,325 \text{ кА}.$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Розрахункова схема розрахунку струмів однофазного КЗ

Схема заміщення для розрахунку струмів однофазного КЗ

Рисунок 5.2 – Розрахункові схеми

Результати розрахунків струмів КЗ зведені в таблицю 4.1

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку струмів КЗ у різних точках електричної мережі 3-го поверху адмінбудівлі

	№ ЕП	Струм трифазного КЗ, кА				Струм однофазного КЗ, кА		
		К2'	К2	К1'	К1	К3	К2	К1
ШР-3	Гр1	3,44	3,70	6,30	9,91	0,226	3,33	15,714
	Гр2					0,325		
	Гр3					0,353		
	Гр4					0,397		
	Гр5					0,276		
	Гр6					0,282		
	Гр7					0,282		
	Гр8					0,176		
	Гр9					0,270		
	Гр10					0,235		
	Гр11					0,208		
	Гр12					0,162		
	Гр13					0,189		
	К1					0,264		
	К2					0,288		
	К3					0,325		
	К4					0,325		
	К5					0,554		
	К6					0,317		
	К7					0,343		
	К8					0,424		
К9	0,638							
Гр14	0,198							
РС1	0,672							
РС2	0,709							
Гр15	0,133							
Гр16	0,110							
Гр17	0,189							
Гр18	0,095							
Гр19	0,143							
Гр20	0,184							
Гр21	0,126							

5. Вибір автоматичних вимикачів

Вибір і перевірка всіх ЕА напругою до і понад 1 кВ мають відповідати таким умовам:

1) міцності ізоляції для роботи в тривалому режимі та при короткочасних перенапругах:

$$U_{ном.е.а} \geq U_{ном.м}, \quad (5.1)$$

де $U_{ном.е.а}$ і $U_{ном.м}$ - номінальна напруга ЕА і номінальна напруга електричної мережі (установки) відповідно, у якій застосовується ЕА;

2) допустимого нагрівання струмами в тривалому режимі:

$$I_{ном.е.а} \geq I_{\phi} \quad (5.2)$$

де $I_{ном.е.а}$ і I_{ϕ} - номінальний струм ЕА і струм форсованого режиму відповідно, тобто тривалий максимальний робочий струм, який може через нього протікати;

3) відповідності навколишньому середовищу (нормальне, пожежонебезпечне, вибухонебезпечне та ін.), роду установки (внутрішня, зовнішня) і конструктивному виконанню (висувна, стаціонарна) та ін.;

4) параметрам основної функціональної характеристики: комутаційні ЕА - струм вимикання (вмикання) при КЗ (комутаційна здатність), ЕА захисту - номінальний струм плавкої вставки запобіжника чи уставки розчеплювача автомата.

Перевірку вибраних ЕА проводять за їх стійкістю та працездатністю при наскрізних струмах КЗ. Мають виконуватися такі умови:

5) струм електродинамічної стійкості $EА_d$

$$i_{дин} \geq i_y \quad (5.3)$$

де i_y - розрахунковий ударний струм;

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

б) допустимий струм термічної стійкості апарата I_T за допустимий час термічної стійкості t_T

$$I_T^2 \cdot t_T \geq I_K^2 \cdot t \quad (5.4)$$

де I_K і t - розрахункові параметри струму КЗ і дійсного часу вимикання КЗ відповідно.

Таким чином, номінальна напруга цих автоматів вибирається як:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.м}, \quad (5.5)$$

Номінальний струм автоматів і номінальні струми розчеплювачів не повинні бути меншими за струм форсованого режиму:

$$I_{ном.а} \geq I_{\phi}, \quad (5.6)$$

$$I_{ном.р} \geq I_{\phi} \quad (5.7)$$

У формулах (6.6) і (6.7) беруться найближчі значення номінальних струмів автоматів і розчеплювачів. Автомати звичайно мають кілька номінальних струмів розчеплювача. Найбільше значення номінального струму розчеплювача дорівнює номінальному струму автомата, тому $I_{ном.а} \geq I_{ном.р}$

Струм форсованого режиму визначається за формулою:

$$I_{\phi} = K_{рез} \cdot I_p, \quad (5.8)$$

де $K_{рез}$ - коефіцієнт резервування;

I_p - розрахунковий струм (береться залежно від місця знаходження ЕА в схемі електропостачання).

Уставка струму спрацювання від перевантаження $I_{с.п}$ (уставка струму теплового розчеплювача $I_{у.т.р}$) вибирається за умови:

$$I_{с.п} = I_{у.т.р} \geq K \cdot I_p, \quad (5.9)$$

де K - коефіцієнт, який приймається 1,1 для автомата вводу QF і для автомата QF1, 1,25 - для автоматів QF2-QF7 або 1,0 на лініях до силових ЕП, які не мають у своєму складі ЕД.

У формулі (6.9) для автомата вводу QF1 як розрахунковий струм приймається струм форсованого режиму трансформатора I_{ϕ} ; для автомата

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

QF2 - розрахунковий струм другого рівня електропостачання $I_{p,2}$; для автомата QF3 — розрахунковий струм першого рівня електропостачання одного ЕП $I_{p,1}$ (номінальний струм ЕП $I_{ном.ЕП}$ при $k_3 - 1$).

У лініях з лампами ДРЛ (ДРІ) за умов кратності пускового струму 2,25-3 та його тривалості 60-90 с уставка струму спрацьовування від перевантаження (уставка струму теплового розчеплювача) вибирається так:

$$I_{c.n} = I_{y.m.p} \geq 1,3 \cdot I_{p.o}, \quad (5.10)$$

де $I_{p.o}$ - розрахунковий струм лінії освітлення, А.

Для ЛР і ЛЛ низького тиску уставка струму спрацьовування від перевантаження (уставка струму теплового розчеплювача) вибирається як:

$$I_{c.n} = I_{y.m.p} \geq I_{p.o}. \quad (5.11)$$

Для ЛЛ низького тиску пускові струми не враховуються, бо їх тривалість становить 6-8 с, і за цей час окремі лампи мають різночасне вмикання. ЛР мають пускові струми до 6 номінальних струмів, але їх тривалість всього декілька мілісекунд.

Автомати не повинні вимикати ділянки, які захищають, при короткочасних перевантаженнях (пускові струми, пікові струми та ін.).

Для автомата вводу QF1 спрацьовування відсічки розчеплювача миттєвої дії $I_{c.в}$ визначається за формулою:

$$I_{c.в} \geq (6 - 10)I_{ном.Т} \quad (5.12)$$

де $I_{ном.Т}$ - номінальний струм трансформатора на стороні НН.

Умова перевірки від пікових струмів для групи ЕП (автомат QF2) і від пускових струмів для одного ЕП (автомат QF3) полягає у виборі уставки струму спрацьовування відсічки розчеплювача миттєвої дії $I_{c.в}$ (уставки струму електромагнітного розчеплювача $I_{y.e.p}$) більше цих струмів відповідно не менш ніж на 25 %, тому що похибка від розкиду характеристик може досягати до 15 %

$$I_{c.в} = I_{y.e.p} \geq 1,25I_{пик}, \quad (5.13)$$

$$I_{c.в} = I_{y.e.p} \geq 1,25I_{пуск}, \quad (5.14)$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

де $I_{\text{пiк}}$ і $I_{\text{пуск}}$ - піковий струм групи ЕП за формулами (2.40), (2.41) і пусковий струм одиночного ЕД за формулою (2.12) відповідно (дані пускових і пікових струмів беруться з результатів розрахунків розділу 2: приклади 2.1 і 2.6 відповідно).

У лініях з ККУ струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача) вибирається за формулою:

$$I_{c.в} = I_{y.e.p} \geq 1,3I_{\text{ном.ККУ}}, \quad (5.15)$$

де $I_{\text{ном.ККУ}}$ - номінальний струм ККУ, який обчислюється за формулою (4.13).

Як комутаційний апарат автомати перевіряють щодо здатності вимикання за умови:

$$I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{n.o} = I_{\kappa}^{(3)}, \quad (5.16)$$

де $I_{\text{ном.в.а}}$ - номінальний струм вимикання автомата при нормованих умовах роботи;

$I_{n.o} = I_{\kappa}^{(3)}$ - початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ, до того ж для автоматів вводу й секційних автоматів цей струм визначають для металевого КЗ без перехідних опорів, а для інших (автоматів QF2 і QF3) - з урахуванням опору контактів R_{κ} .

Відповідно до пункту 4 (функціональне призначення) для чутливості захисту (надійного його спрацьовання) мінімальний струм КЗ (звичайно це струм однофазного КЗ у найбільш віддаленій точці лінії, яка захищається) має перевищувати уставки розчеплювачів залежно від їх типів у таких співвідношеннях:

для розчеплювача миттєвої дії (електромагнітного або напівпровідникового) з номінальним струмом більше 100 А

$$I_{\kappa}^{(1)} \geq 1,25I_{c.в}, \quad (5.17)$$

та при струмі до 100 А включно:

$$I_{\kappa}^{(1)} \geq 1,4I_{c.в} \quad (5.18)$$

— для розчеплювача уповільненої дії:

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\kappa}^{(1)} \geq 3I_{c.v} \quad (5.19)$$

Вибірковість дії послідовно встановлених автоматів забезпечується за умови, що їх захисні характеристики на карті селективності не повинні перетинатися, до того ж уставки струму розчеплювачів уповільненої й миттєвої дії в автомата, розташованого ближче до ЕП, мають бути в 1,5 рази менші, ніж у більш віддаленого автомата [2].

5.1. Вибір ввідного автомата шафи ШР-3

Вибираємо автомат FB3-125 EVO 100A струмообмежувальний з тепловим і електромагнітним розчеплювачами.

За формулою (5.5) номінальна напруга автомата вибирається як:

$$400 \geq 380V.$$

Визначений раніше розрахунковий струм шафи ШР-3:

$$I_{номШР3} = 90,97A.$$

Тоді за формулою (5.6) номінальний струм автомата FMC4/3U 350A:

$$I_{ном.a} = 100 > I_{\phi} = 90,97 A.$$

Для автомату FB3-125 EVO 100A номінальний струм теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ 100 А. Тоді за формулою (5.7) номінальний струм теплового розчеплювача:

$$I_{ном.т.р} = 100 \geq I_{\phi} = 90,97 A.$$

Для автомату FB3-125 EVO 100A кратність струму спрацьовування (уставки) теплового розчеплювача $I_{y.т.р}$ до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{y.т.р} / I_{ном.т.р}$) відповідно до характеристики становить 5. Таким чином, уставка струму теплового розчеплювача:

$$I_{y.т.р} = 5 \cdot I_{ном.т.р} = 5 \cdot 100 = 500A.$$

За формулою (5.9)

$$I_{y.т.р} = 500A > 1,1 \cdot 90,97 = 100,07A.$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Для автомату FB3-125 EVO 100А у разі наявності теплового розчеплювача відношення струму спрацьовування відсічки $I_{c.в}$ (електромагнітного розчеплювача $I_{y.e.p}$) до номінального струму теплового розчеплювача $I_{ном.т.р}$ ($I_{y.т.р} / I_{ном.т.р}$) становить 10. Таким чином, струм спрацьовування відсічки (електромагнітного розчеплювача)

$$I_{c.e} = I_{y.e.p} = 10 \cdot I_{ном.т.р} = 10 \cdot 100 = 1000A.$$

За формулою (5.13)

$$I_{c.e} = 1000 A > 6 \cdot 146,98 = 881,88 A.$$

При перевірці вимикання струму трифазного КЗ автоматом вводу шафи ШР-3 береться струм трифазного КЗ у точці К2 з таблиці 4.1 $I_{К1(0)} = 3,7$ кА. Для автоматів FB3-125 EVO 100А вимикаюча гранична комутаційна здатність (ВГКЗ) при $I_{ном.а} = 100A$ становить $I_{ном.в.а} = 10$ кА. За формулою (5.16)

$$15 \text{ кА} > 3,7 \text{ кА}.$$

Для перевірки чутливості захисту з таблиці 4.1 струм однофазного КЗ на шинах НН ШР-3 $I_k^{(1)} = 3,33$ кА. За формулою (6.17) для електромагнітного розчеплювача з номінальним струмом більше 100 А

$$I_k^{(1)} = 3,33 \text{ кА} > 1,4 \cdot 1000 = 1,4 \text{ кА}.$$

Остаточно вибирається автомат FB3-125 EVO 100А з такими параметрами:

$$U_{ном.а} = 500V; I_{ном.а} = 100A; I_{ном.т.р} = 100A; I_{y.т.р} = 500A; I_{y.e.} = 1000 A;$$

$$I_{ном.в.а} = 15 \text{ кА}.$$

Результати вибору ЕА зручно подати у вигляді таблиці: у першій колонці записують умови вибору, у другій - каталожні дані ЕА, у третій - розрахункові дані (дивися таблицю 6.1).

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Таблиця 5.1 - Каталогні та розрахункові дані автомата вводу QF для шафи ШР-3

Умови вибору	Каталожні дані автомата FB3-125 EVO 100A	Розрахункові дані
За номінальною напругою $U_{\text{ном.а}} \geq U_{\text{ном.м}}$	$U_{\text{ном.а}} = 500\text{В}$	$U_{\text{ном.м}} = 380\text{В}$
За номінальним струмом автомата $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.а}} = 100\text{А}$	$I_{\phi} = 90,97\text{А}$
За номінальним струмом розчеплювача $I_{\text{ном.р}} \geq I_{\phi}$	$I_{\text{ном.р}} = 100\text{А}$	$I_{\phi} = 90,97\text{А}$
За номінальним струмом автомата та його розчеплювачів $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.р}}$	$I_{\text{ном.а}} = 100\text{А}$	$I_{\text{ном.р}} = 100\text{А}$
За номінальним струмом теплового розчеплювача $I_{\text{с.п}} = I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1I_{\phi}$	$I_{\text{у.т.р}} = 500\text{А}$	$1,1I_{\phi} = 1,1 \cdot 90,97 = 100,07\text{А}$
За умовою відстройки від пікових струмів $I_{\text{с.в}} \geq (6 - 10)I_{\text{ном.т}}$	$I_{\text{с.е}} = I_{\text{у.е.р}} = 1000\text{А}$	$I_{\text{с.е}} = 6I_{\text{пik}} = 881,88\text{А}$
За номінальним струмом вимикання автомата $I_{\text{ном.в.а}} \geq I_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}^{(3)}$	$I_{\text{ном.в.а}} = 10\text{кА}$	$I_{\text{п.о}} = I_{\text{к}}^{(3)} = 3,7\text{кА}$
За умовою чутливості $I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1,25I_{\text{с.в}}$	$1,4I_{\text{с.в}} = 1,4\text{кА}$	$I_{\text{к}}^{(1)} = 3,33\text{кА}$

5.2. Вибір автоматів розподільної мережі

Аналогічно проводимо розрахунок для вибору лінійних автоматів і автоматів для ЕП. Окремо слід зауважити, що розеточні мережі та лінії живлення руко сушок захищаються диференціальними автоматами, які поєднують у собі функції захисту від струмів КЗ і перевантаження та захист від струму витоку з уставкою 30мА, що дозволяє вимкнути лінію при пошкодженні ізоляції технологічного обладнання та доторку обслуговуючого персоналу до корпусу обладнання що перебуває під напругою.

Результати записуємо до таблиць 5.2 та 5.3 відповідно.

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 - Результати вибору ввідного автомата в ШР-3

Лінія живлення	Тип автомата	Uном, В	Inом, А	Inом.т.р, А	Iy.т.р, А	Iy.в.р, А	Inом.в.а, кА
До ШР-3	FB3-125 EVO	500	100	100	500	1000	15

Таблиця 5.3 - Результати вибору лінійних автоматів до ЕП

Автомат	Тип автомата (дифавтомата)	Uном, В	Inом, А	Inом.т.р, А	Iy.т.р, А	Iy.в.р, А	Inом.в.а, кА	Inом.диф, А
Гр1-QF	FAP10-AC	500	25	25	125	1250	10	30
Гр2-QF	FAP10-AC	500	25	25	125	1250	10	30
Гр3-QF	FAP10-AC	500	25	25	125	1250	10	30
Гр4-QF	FAP10-AC	500	16	16	80	800	10	30
Гр5-QF	FAP10-AC	500	25	25	125	1250	10	30
Гр6-QF	FAP10-AC	500	25	25	125	1250	10	30
Гр7-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
Гр8-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
Гр9-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
Гр10-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
Гр11-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
Гр12-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
Гр13-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
K1-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
K2-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
K3-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
K4-QF	FB3-63 EVO	500	16	16	80	800	10	-
K5-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
K6-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
K7-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
K8-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
K9-QF	FB3-63 EVO	500	10	10	50	500	10	-
Гр14-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-
PC1-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
PC2-QF	FAP10-AC	500	6	6	30	300	10	30
Гр15-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-
Гр16-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-
Гр17-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-
Гр18-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-
Гр19-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-
Гр20-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-
Гр21-QF	FB3-63 EVO	500	6	6	30	300	10	-

Однолінійна схема живлення обладнання 3-го поверху адмінбудівлі з позначенням автоматів наведена у додатках.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

6. Охорона праці

Характер основних робіт, що виконуються у робочих приміщеннях третього поверху адміністративної будівлі – робота за комп'ютером.

Для забезпечення техніки безпеки підприємствами розробляється комплекс інструкцій з охорони праці, до складу яких відповідно, входить і інструкція з охорони праці при експлуатації персональних електронних обчислювальних машин та локальних обчислювальних мереж.

Дана інструкція є обов'язковою для всіх працівників при організації та виконанні робіт, що пов'язані з експлуатацією, налагоджуванням та ремонтом засобів обчислювальної техніки, таких як персональні та керуючі електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), периферійні пристрої ЕОМ (монітори, друкуючі пристрої, обладнання локальних обчислювальних мереж), пристрої, сполучені із засобами телемеханіки, зв'язку та релейного захисту.

При виконанні робіт, пов'язаних з експлуатацією, обслуговуванням, налагоджуванням та ремонтом ЕОМ на працівників діють несприятливі та шкідливі фактори, основними з яких являються:

- зорове та нервово-емоційне напруження, що виконується у вимушеній робочій позі при локальному напруженні верхніх кінцівок на фоні обмеженої загальної м'язової активності (гіподинамії);
- наявність шуму та вібрації (при роботі друкуючих пристроїв);
- електромагнітне випромінювання;
- ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання;
- електростатичне поле між екраном і оператором;
- наявність пилу, озону, оксидів азоту та аероіонізації.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При роботі на ЕОМ персонал зобов'язаний виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку, дотримуватися трудової та виробничої дисципліни.

Забороняється палити у виробничих приміщеннях, виконувати роботи, що не відносяться до виробничої діяльності.

До самостійної роботи на ЕОМ допускаються особи, що пройшли попередній та періодичний медогляд, вступний та первинний інструктажі, навчання по програмі підготовки на посаду та перевірку знань з питань охорони праці, технології робіт, пожежної безпеки, посадових та виробничих інструкцій в об'ємах займаної посади.

ЕОМ належить до електрообладнання з напругою до 1000В, тому при виконанні ремонтних робіт під напругою необхідно використовувати захисні засоби: інструмент з ізольованими руків'ям, діелектричні рукавички. Забороняється виконання ремонтних робіт з ручним годинником, що має металевий браслет.

Робочі місця з відео терміналами та персональними ЕОМ необхідно розміщувати з дотриманням наступних вимог:

- робочі місця з відео терміналами та ПЕОМ розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями відео терміналів має бути не менше 1,2 м.

ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні підключатися до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення.

Штепсельні з'єднання та електророзетки, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотнім. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення ЕОМ та периферійних пристроїв ЕОМ до звичайної двопровідної мережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв.

Забороняється застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПУЕ до переносних електропроводок.

Приміщення з ЕОМ повинні бути обладнані переносними вуглекислотними вогнегасниками.

Перед початком роботи з ЕОМ, працівник повинен перевірити:

- стан освітлення та стан первинних засобів пожежогасіння;
- наявність видимих пошкоджень захисного заземлення (занулення);
- виконати зовнішній огляд ЕОМ, переконатися, що всі кожухи, кришки пристроїв закриті, роз'єми кабелів міцно та надійно встановлено у відповідні гнізда;
- перевірити справність проводів живлення і відсутність оголених або пошкоджених ділянок проводів;
- перевірити відсутність на корпусах зайвих речей.

При експлуатації ЕОМ необхідно утримувати робоче місце в безпечному стані, для цього забороняється:

- з'єднування та роз'єднування кабелів при підключеній напрузі;
- виконання обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ безпосередньо на робочому місці користувача ЕОМ;
- зберігання поруч з відео терміналом та ЕОМ паперу, дискет, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

- відключення захисних пристроїв, самочинне проведення змін у конструкції та складі ЕОМ, устаткування або їх технічне налагодження;
- робота з відео терміналами, в яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;
- робота на принтері зі знятою (хоч трохи піднятою) верхньою кришкою.

При виконанні робіт на ЕОМ необхідно дотримуватися режимів праці та відпочинку.

При роботі з моніторами та ЕОМ тривалість безперервної роботи не повинна перевищувати 4 години, кожен годину необхідно робити перерву на 5-10 хвилин, а за 2 години безперервної роботи – на 15 хвилин. З метою запобігання перевтоми та перенапруги необхідно виконувати під час регламентованих перерв комплекси профілактичних фізичних вправ та сеанси психофізіологічного розвантаження.

При експлуатації ЕОМ необхідно пам'ятати і розуміти, що електроживлення здійснюється від мережі 220В, яка є небезпечною для здоров'я та життя людини.

По закінченню роботи слід припинити роботу всіх працюючих прикладних завдань та програмного забезпечення і зупинити роботу операційної системи.

Відключення від електричної мережі обладнання, підключеного до ЕОМ, необхідно виконувати у наступній послідовності:

- відключити додаткове обладнання (принтер, модем тощо);
- відключити монітор;
- відключити системний блок.

У разі виникнення аварійної ситуації необхідно припинити роботу всіх працюючих прикладних завдань, зупинити роботу операційної системи та відключити від електричної мережі обладнання.

Ознаками аварійної ситуації можуть бути:

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- сморід горілого та інші ознаки загоряння;
- ураження електричним струмом;
- загорання відповідних сигнальних аварійних індикаторів на відповідних пристроях ЕОМ.

При появі в приміщенні ознак виникнення пожежі, загорання електропроводки, устаткування слід відключити електроживлення і вжити заходів щодо ліквідації пожежі наявними засобами пожежогасіння. При цьому застосовують вуглекислотні вогнегасники. Застосування пінних вогнегасників і води для гасіння електрообладнання, що знаходиться під напругою – не допустимо.

У разі виникнення аварійної ситуації з ураженням електричним струмом працівник має припинити роботу, надати потерпілому першу допомогу, викликати швидку та повідомити про випадок безпосереднього керівника.

При електротравмі слід в першу чергу звільнити потерпілого від дії електричного струму. Це можна зробити, вимкнувши запобіжник або рубильник або відкинувши проводи в сторону за допомогою діелектричного предмету.

Слід пам'ятати про особисту електробезпеку працівнику, який виконує наступні дії:

- утримувати потерпілого тільки за одяг, не торкаючись до відкритих ділянок тіла;
- по можливості слід обмотати руки сухою ганчіркою або надіти гумові рукавички;
- стати на ізолюючий предмет (гумовий килим, дерев'яна підставка тощо).

В обов'язковому порядку потрібно викликати бригаду швидкої допомоги, а поки вона буде в дорозі, необхідно намагатися відновити у потерпілого діяльність дихальної та серцево-судинної систем. Необхідно

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

зробити штучне дихання і непрямий масаж серця. Закінчити реанімаційну діяльність потрібно тільки після того, як відновиться самостійне дихання у потерпілого.

При виконанні усіх правил техніки безпеки, посадових інструкцій та суворому дотриманні трудової дисципліни – можна звести до нуля вірогідність настання аварійних ситуацій, що загрожують здоров'ю та життю працівників.

Розрахунок заземлюючого контуру адміністративної будівлі

Заземленням називають навмисне з'єднання металевих частин електроустановки з заземлюючим пристроєм.

Заземлюючий пристрій (ЗП) – це сукупність заземлювача та заземлюючих провідників.

Необхідно розрахувати заземлювальний пристрій цеху та заводської підстанції. Споживачі цеху отримують живлення від трансформатора 10/0,4 кВ з заземленою нейтраллю на стороні 0,4 кВ. Природних заземлювачів немає.

Вихідні дані:

Розміри цеху – $A \times B = 33 \times 14 \text{ м}^2$; ґрунт в місці будівлі суглинок; кліматична зона – III;

Вертикальний електрод – кругла сталь $\varnothing 16$ мм, довжина – $L_B = 3 \text{ м}$; глибина закладання $t = 0,7 \text{ м}$; Вид ЗП – рядне;

Горизонтальний електрод – смуга ($40 \times 4 \text{ мм}^2$).

Опір заземлюючого пристрою, до якого приєднані нейтраль джерела живлення або виводи джерела однофазного струму, у будь-який час року не повинне перевищувати 2, 4 і 8 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму. Цей опір необхідно забезпечувати з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до PEN (PE) – провідника, якщо кількість

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

відвідних ліній не менше двох.

Для питомого опору землі $\rho > 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ допускається збільшувати значення опору заземлення в $0,01\cdot\rho$ раз, але не більш ніж в 10 разів, за винятком опору заземлюючих пристроїв і заземлювачів, що використовуються одночасно для електроустановок напругою вище 1 кВ.

Опір заземлювального пристрою нейтралі трансформатора 0,4 кВ згідно ПУЕ [1] повинен бути не більше $R_{3У} \leq 4 \text{ Ом}$.

Прийmemo опір заземлювального пристрою на рівні $R_{3У} = 4 \text{ Ом}$.

Розрахунковий опір одного вертикального електрода визначається за виразом:

$$r_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{2p + \frac{l}{2}}{2p - \frac{l}{2}} \right),$$

де r_B – розрахунковий опір одного вертикального електрода;

$K_{СЕЗ.В}$ – коефіцієнт сезонності;

$\rho_{розр} = \rho \cdot K_{СЕЗ.В}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту;

ρ – питомий опір ґрунту, виміряний при нормальній вологості, $\text{Ом}\cdot\text{м}$, приймається по табл. 6.2.

$K_{СЕЗ.В} = 1,5$ (III кліматичний район) – значення взяте з табл. 6.1;

$K_{СЕЗ.Г} = 2,3$ значення взяте з табл. 6.1;

$$p = t + \frac{l}{2}.$$

Для визначення питомого опору землі за розрахункове варто приймати його сезонне значення, що відповідає найменш сприятливим умовам.

Таблиця 6.1 – Коефіцієнти сезонності

Кліматична зона	Вид заземлювача		Додаткові відомості
	вертикальний	горизонтальний	
I	2	3	4
II	1,9	5,8	Глибина закладення вертикальних заземлювачів від поверхні землі 0,5...0,7 м
III	1,7	4,0	
IV	1,5	2,3	
	1,3	1,8	Глибина закладення горизонтальних заземлювачів 0,3...0,8 м

Примітка. Зона I має найбільш холодний, IV – теплий клімат;

Таблиця 6.2 – Питомий опір ґрунту ρ

Ґрунт	Торф	Глина, земля садова	Чорнозем	Суглинок	Кам'янистий ґрунт	Супісок	Пісок з галькою
$\rho, \text{ Ом}\cdot\text{м}$	20	40	50	100	200	300	800

Таким чином приймаємо $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

$$r_B = \frac{\rho_{розр}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{2p + \frac{l}{2}}{2p - \frac{l}{2}} \right) = \frac{100 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{2 \left(0,7 + \frac{3}{2} \right) + \frac{3}{2}}{2 \left(0,7 + \frac{3}{2} \right) - \frac{3}{2}} \right) = 50,02 \text{ Ом}.$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове):

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3У}};$$

де $N'_{B.P}$ – кількість вертикальних електродів без урахування екранування (розрахункове округлюємо до найбільшого кратного 2);

$R_{3У}$ – граничний опір сполученого ЗП.

$$N'_{B.P} = \frac{r_B}{R_{3У}} = \frac{50,02}{4} = 12,505 \approx 13 \text{ шт.}$$

Визначаємо кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування:

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B}$$

де $N_{B.P}$ – кількість вертикальних електродів з урахуванням екранування;
 $\eta_B, \eta_{Г}$ – коефіцієнти використання вертикального й горизонтального електродів, визначаються за табл. 10.3:

$$\eta = f(\text{тип ЗП, вид заземлювача, } \frac{a}{L}, N_B),$$

де a – відстань між вертикальними заземлювачами, м;

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

L – довжина вертикального заземлювача, м;

N_B – число вертикальних заземлювачів.

Таблиця 6.3 – Коефіцієнти використання вертикальних η_B і горизонтальних η_G електродів заземлювального пристрою

N_B	$\frac{a}{L}$						Додаткові відомості
	1		2		3		
	η_B	η_G	η_B	η_G	η_B	η_G	
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,70	Чисельник для контурного ЗП, Знаменник — для рядного
	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92	
6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,80	0,64	
	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88	
10	0,55	0,34	0,69	0,40	0,76	0,56	
	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82	
20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45	
	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68	
30	0,43	0,24	0,60	0,30	0,68	0,41	
	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58	

Так як контурний ЗП закладається на відстані не менше 1 м до будівлі і закладення виконується з трьох сторін будівлі, то довжина по закладанню дорівнює:

$$L_n = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) = (33 + 2) \cdot 2 + (14 + 2) = 70 + 16 = 86 \text{ м.}$$

де A – довжина будівлі;

B – ширина будівлі;

L_n – довжина по периметру закладання;

$A \times B = 33 \times 14 \text{ м}^2$ – параметри будівлі.

Визначаємо відстань між вертикальними електродами

$$a = \frac{L_n}{N_{B,P}} = \frac{86}{13} = 6,615 \text{ м};$$

$$\frac{a}{L_B} = \frac{6,615}{3} = 2,205.$$

Приймаємо як розрахункове значення $\frac{a}{L_B} = 2$.

Таким чином

$$\eta = f(\text{рядний, вертикальний, } 2, 13) = 0,56.$$

$$N_{B.P} = \frac{N'_{B.P}}{\eta_B} = \frac{13}{0,56} = 23,21 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_{B.P} = 24$ шт.

Далі відстань між електродами уточнюється з урахуванням форми об'єкта. По кутах установлюють по одному вертикальному електроду, а ті що залишилися – між ними. Розміщуємо елементи ЗП на плані та уточнюємо відстані.

Для рівномірного розподілу електродів остаточно приймаємо, $N_B = 25$ (рис. 6.1).

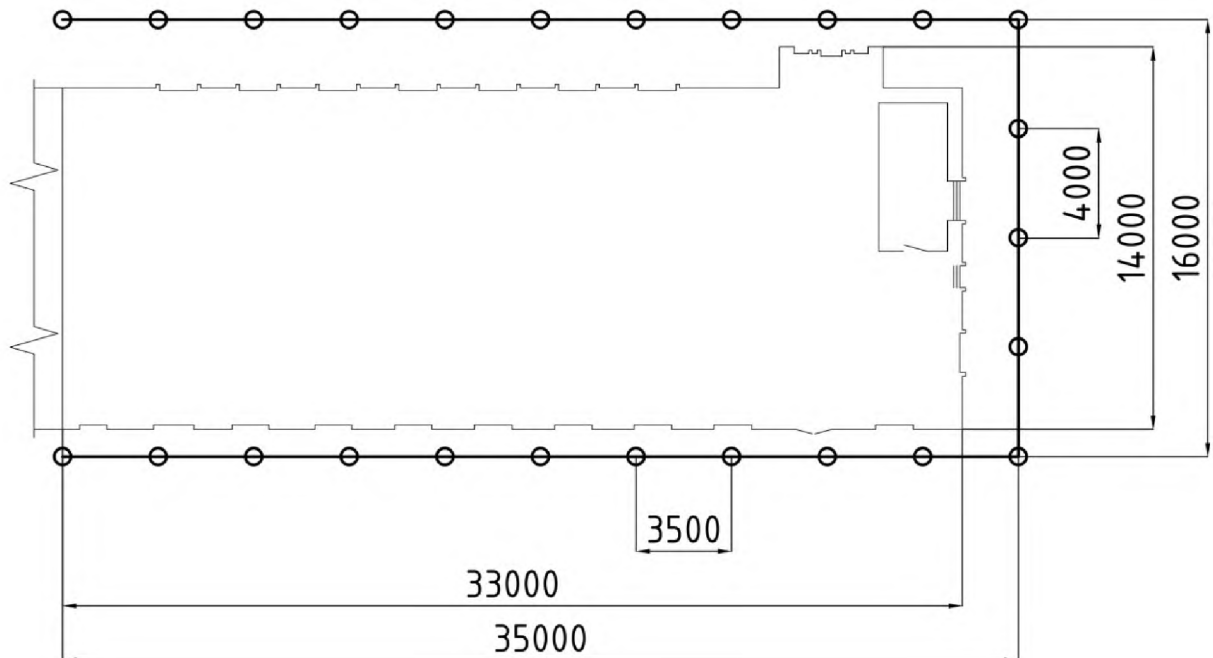


Рисунок 6.1 – План заземлювального контуру

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1};$$

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1};$$

де a_B – відстань між електродами по ширині об'єкта, м;
 a_A – відстань між електродами по довжині об'єкта, м;
 n_B – кількість електродів по ширині об'єкта;
 n_A – кількість електродів по довжині об'єкта.

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1} = \frac{35}{11 - 1} = 3,5 \text{ м},$$

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1} = \frac{16}{5 - 1} = 4 \text{ м}.$$

Для уточнення приймається середнє значення відношення

$$\left(\frac{a}{L_B}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_A + a_B}{L_B}\right)$$

де L_B – довжина вертикального заземлювача, м;
 a – відстань між вертикальними заземлювачами, м.

$$\left(\frac{a}{L_B}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_A + a_B}{L_B}\right) = \frac{1}{2} \left(\frac{3,5 + 4}{3}\right) = 1,25.$$

За табл. 6.3 уточнюються коефіцієнти використання за допомогою апроксимації.

$$\eta_B = f(\text{рядний; вертикальний; } 1; 25) = 0,46$$

$$\eta_\Gamma = f(\text{рядний; горизонтальний; } 1; 25) = 0,365$$

Визначаються уточнені значення опорів вертикальних і горизонтальних електродів.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\Gamma} = \frac{0,4}{L_{\Pi}\eta_{\Gamma}} \rho K_{CE3,\Gamma} \lg \frac{2L_{\Pi}^2}{bt}$$

де R_{Γ} – уточнене значення опору горизонтальних електродів,

$t = 0,7$ – глибина закладання, (м)

b – ширина смуги, (м)

L_{Π} – довжина смуги, (м)

$$R_{\Gamma} = \frac{0,4}{L_{\Pi}\eta_{\Gamma}} \rho K_{CE3,\Gamma} \lg \frac{2L_{\Pi}^2}{bt} = \frac{0,4}{86 \cdot 0,365} \cdot 100 \cdot 2,3 \cdot \lg \frac{2 \cdot (86)^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 38,652 \text{ Ом.}$$

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B}$$

де R_B – уточнене значення опору вертикальних електродів

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B} = \frac{50,02}{25 \cdot 0,46} = 4,35 \text{ Ом.}$$

Визначаємо $R_{3У,\Phi}$ фактичний опір ЗП

$$R_{3У,\Phi} = \frac{R_B R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}} = \frac{4,35 \cdot 38,652}{4,35 + 38,652} = 3,909 \text{ Ом;}$$

$$(3,909) R_{3У,\Phi} < R_{3У}(4)$$

Отже, було розраховано параметри ЗП об'єкта, що складається з 25 вертикальних заземлювачів, довжиною 3 м, відстань між якими по довжині об'єкта – 3,5 м і 4 м – по ширині об'єкта. Довжина по периметру закладання 86 м. Опір заземлюючого пристрою становить 3,909 Ом. Вертикальний електрод – *кругла сталь* $\Phi 16$, горизонтальний електрод – смуга з розмірами 40×4 мм.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

7. Економічна частина

При проведенні проектних робіт, зокрема, при проектуванні робочого освітлення приміщень та кабінетів 3-го поверху адміністративної будівлі було прийнято рішення про використання у якості джерел світла світлодіодних панелей типу ДВО20У-36-011 УХЛ4 Юпітер-LED-панель. Даний світлотехнічний пристрій можливо використовувати для загального освітлення адміністративних, офісних, комерційних, медичних і громадських приміщень.

Вибір обумовлений з урахуванням наступних особливостей:

- світло діоди розташовані в торцевій частині світильника, що створює комфортне, м'яке, розсіяне світло без відблисків;
- джерело світла – енергоекономні світлодіоди – клас енергоефективності «А++» - понад 50 тисяч годин безперервної роботи, стабільний світловий потік, миттєво запалюються / перезапалюються, стійкі до перепадів напруги і багаторазових вмикань / вимикань, мають високу кольоропередачу, відсутній шкідливий ефект низькочастотних пульсацій, немає ультрафіолетового випромінювання, екологічно не шкідливі – не вимагають спеціальної утилізації (без вмісту ртуті);
- плавне увімкнення, а також захист від перегріву і перегорання дозволяє продовжити термін служби світло діодів;
- використання при виробництві електронних компонентів та світло діодів виключно провідних світових виробників (OSRAM);
- за запитом – корельовано колірна температура – 3000К або 5000К, в стандартному виконанні – «нейтральний білий» 4000К;
- атмосферостійке виконання – має тривалий термін служби.

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Говорухіна І.В.</i>				<i>Проектування системи електропостачання адміністративної будівлі Сумського регіонального центру обслуговування мережі НЕК «Укренерго»</i>	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Петровський М.В.</i>						72	90
<i>Консульт.</i>	<i>Маценко М.О.</i>					<i>СумДУ, ЕТ.мз-11с</i>		
<i>Н.контроль</i>	<i>Никифоров М.А.</i>							
<i>Завтвер.</i>	<i>Лебединський І.Л.</i>							

Розрахунок економічного ефекту від вибору світлодіодних світильників замість світильників із звичними люмінесцентними лампами.

Таблиця 7.1 – Технічні характеристики світильників

Найменування	Тип світильника	
	ARSplus / R418	ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель
Тип лампи	Osram L18	Світлодіодна панель
Потужність світильника ($n \times N_l$), Вт	$18 \times 4 = 72$	36
Світловий потік світильника ($n \times \Phi_l$), лм	$1050 \times 4 = 4200$	4320
Кількість ламп у світильнику (n), шт.	4	-
Термін служби, годин	10000	50000+

Для прикладу розглянемо приміщення №1

Кількість світильників, необхідна для освітлення офісного приміщення ($N_{світ}$), визначається по формулі:

$$N_{світ} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_s \cdot z}{\Phi_l \cdot n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 30,25 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{1050 \cdot 4 \cdot 1} = 3,72 \approx 4 \text{ шт}$$

де E_n – норма освітлення. Приймаємо $E_n = 300$ лк.;

S – площа приміщення, м²; $S = 30,25$ м².

k_s – коефіцієнт запасу. Обираємо $k_s = 1,5$;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості. Приймаємо $z = 1,15$;

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Φ_L – світловий потік лампи, лм;

n – кількість ламп у світильнику, шт.;

η – коефіцієнт використання. Приймаємо $\eta = 1$.

$$N_{свимLED} = \frac{E_H * S * k_S * z}{\Phi_L * n * \eta} = \frac{300 * 30,25 * 1,5 * 1,15}{4320 * 1 * 1} = 3,62 \approx 4 \text{ шт}$$

$$N_{свимARS} = \frac{E_H * S * k_S * z}{\Phi_L * n * \eta} = \frac{300 * 30,25 * 1,5 * 1,15}{1050 * 4 * 1} = 3,72 \approx 4 \text{ шт}$$

Вартість світильників, які встановлюються в офісному приміщенні ($C_{св}$), визначається по формулі:

$$C_{св} = (C_c + C_L * n) * N,$$

де C_c – ціна одного світильника, грн.;

C_L – ціна однієї лампи, грн.;

N – кількість світильників, шт.

Використовуючи дані Internet та прайс-листи знаходимо ціну необхідних нам світильників та ламп для них:

1. Ціна світильника ARSplus / R418 – 800 грн.;
2. Ціна світильника ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель – 1240 грн.;
3. Ціна лампи Osram L18 – 20 грн.

Розрахуємо вартість всіх світильників кожного виду:

$$C_{свLED} = 1240 * 4 = 4960 \text{ грн,}$$

$$C_{свARS} = (800 + 20 * 4) * 4 = 3520 \text{ грн,}$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вартість монтажу світильників визначимо по формулі:

$$C_{\text{монт}} = C_{\text{монтаж}} * n$$

де $C_{\text{монтаж}}$ – ціна монтажу одного світильника, грн.

Ціна монтажу світильників ARSplus / R418 - 100 грн.

Ціна монтажу світильників ДВО20У-36-011 - 85 грн.

Розрахуємо вартість монтажу світильників кожного виду:

$$C_{\text{монтажLED}} = 85 * 4 = 340 \text{ грн}$$

$$C_{\text{монтажARS}} = 100 * 4 = 400 \text{ грн}$$

Кількість електричної енергії, що споживається за рік (K), визначається по формулі:

$$K = T * N_{\text{світ}} * \Phi_{\text{світ}}$$

де T – час роботи, годин, прийmemo час 50000 годин;

$\Phi_{\text{світ}}$ – потужність лампи, кВт.

Розрахуємо спожиту електроенергію кожного виду світильників за час $T=50000$ годин

$$K_{\text{LED}} = 50000 * 4 * 36 = 7200 \text{ кВт}$$

$$K_{\text{ARS}} = 50000 * 4 * 72 = 14400 \text{ кВт}$$

Вартість електричної енергії, що споживається світильниками за час $T=50000$ годин, визначається по формулі:

$$C_{\text{EE}} = K * C_{\text{ел}}$$

де $C_{\text{ел}}$ – ціна на електричну енергію для підприємств, при 2-му класі напруги. $C_{\text{ел}} = 1,289$ грн. /кВт.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо вартість спожитої електроенергії кожним з видів світильників за час $T=50000$ годин

$$C_{EELED} = 7200 * 1,289 = 9280,8 \text{ грн}$$

$$C_{EEARS} = 14400 * 1,289 = 18561,6 \text{ грн}$$

Враховуючи заявлений виробником світлодіодних світильників час роботи 50000 годин, оцінимо витрати по експлуатації світильників за такий проміжок час.

З урахуванням терміну служби люмінесцентних ламп 10000 год витрата ламп Osram L18 у світильниках ARSplus / R418 складе $20 \times 4 = 80$ штук за період 50000 годин, а у світильник ДВО20У-36-011 – 4 штуки.

Економічні витрати по експлуатації світильників ARSplus / R418 за час 50000 годин:

$$C_{експARS} = 80 * 20 = 1600 \text{ грн}$$

$$C_{експLED} = 1240 * 4 = 4960 \text{ грн}$$

Визначимо повні витрати по впровадженню кожного з варіантів по формулі:

$$V_{пов} = C_{св} + C_{монтаж} + C_{EE} + C_{експ}$$

$$V_{повLED} = 4960 + 340 + 9280,8 + 4960 = 19540,8 \text{ грн}$$

$$V_{повARS} = 3520 + 400 + 18561,6 + 1600 = 24081,6 \text{ грн}$$

Економія за період 50000 годин при використанні світильників ДВО20У-36-011 замість світильників ARSplus/R418, складає:

$$EK_{50000} = V_{повARS} - V_{повLED} = 24081,6 - 19540,8 = 4540,8 \text{ грн}$$

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.2 – Порівняння економічних показників світильників

	Світильник ARSplus / R418 з 4 лампами Osram L18	Світильник ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель
Кількість світильників, шт.	4	4
Вартість всіх світильників з лампами, грн.	3520	4960
Вартість монтажу світильників, грн.	400	340
Електрична енергія, що споживається за період 50000 годин, кВт	14400	7200
Вартість електричної енергії за період 50000 годин, грн.	18561,6	9282,8
Витрати по експлуатації світильників за період 50000 годин, грн.	1600	4960
Повні витрати за період 50000 годин, грн.	24081,6	19540,8
Економія за період 50000 годин, грн.	-	4540,8
Економія у вираженні за рік, при 2500 робочих годин у році, грн.	-	227,04

Таким чином, ми бачимо, що повні витрати по першому варіанту, тобто освітлення офісного приміщення за допомогою світильників типу ARSplus / R418 з чотирма лампами Osram L18, більші, в порівнянні з другим варіантом (тобто, освітлення офісного приміщення за допомогою світильників типу

ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель) на 227,04 грн/рік.

Додатково слід звернути увагу, що в даному розрахунку не враховані витрати на утилізацію люмінесцентних ламп, заміну пускових дроселів для них, що суттєво збільшить суму експлуатаційних витрат на світильники з люмінесцентними лампами.

Враховуючи також наведені на початку економічної частини переваги світлодіодного світильника над світильником з люмінесцентними лампами, а також той факт, що світильник ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель має більший світловий потік (4320лм проти 4200лм) і виготовляється вітчизняною корпорацією «ВАТРА» м. Тернопіль можна остаточно підтвердити використання світлодіодних світильників.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Результатом виконання даної роботи є електротехнічний розрахунок параметрів розподільчої електричної мережі 3-го поверху адміністративної будівлі з метою її модернізації у зв'язку з моральним та фізичним зносом обладнання, що відпрацювало свій термін, а також при необхідності виконання оздоблювально-ремонтних робіт у робочих приміщеннях.

Розроблено розташування робочих місць, організовано відповідні окремі групові розеточні мережі для комп'ютерної техніки, побутових приладів та господарчого обладнання. Розведено мережу освітлення та мережу живлення для сантехнічного (витяжні вентилятори та рукосушки) і вентиляційного обладнання (кондиціонери).

Слід окремо підкреслити, що при складанні схеми проекрованої розподільчої шафи ШР-3 було використано автомати захисного вимкнення для живлення розеточних мереж, щоб запобігти ураженню персоналу струмами витоку. Також при організації живлення вентиляційної техніки, використано схему із загальним вимикачем та незалежним розчеплювачем, для можливості блокування роботи вентиляції на випадок пожежі.

У відповідності до організації розподільчої мережі, розраховано електричні навантаження на двох рівнях системи електропостачання, що, в свою чергу, дозволило провести вибір та перевірку комутаційних захисних апаратів у проектованій поверховій розподільчій шафі ШР-3.

Проведено вибір кабельно-провідникової продукції. Для розподільчої мережі обрано часто вживаний тип кабелю ВВГнгд-1,0 – силовий з мідними струмопровідними жилами з полівінілхлоридною ізоляцією в зовнішній загальній оболонці з полівінілхлоридного пластику. Перерізи жил окремих ліній відповідають розрахованим навантаженням.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи складені в роботі схеми заміщення, з урахуванням електричних параметрів обраного обладнання та кабелів, а також існуючого низьковольтного і високовольтного обладнання та трансформаторів на першому рівні системи електропостачання, розраховано трифазні струми короткого замикання на двох рівнях системи електропостачання та струми однофазного короткого замикання на трьох рівнях системи електропостачання.

З використанням отриманих величин струмів КЗ та параметрів розрахованих навантажень проведено вибір комутаційного обладнання.

В якості автоматичних вимикачів вибрано комутаційні апарати вітчизняного виробника «PROMFACTOR» (м. Кривий Ріг), що відрізняються високою якістю та надійністю роботи, підтвердженими досвідом використання в інших системах електропостачання.

У розділі «Охорона праці» розглянуто особливості офісно-адміністративної роботи, що, в основному, полягає в роботі за ПЕОМ. Також розраховано контур заземлення для існуючої адміністративної будівлі.

Розділ «Економічна частина» є по суті підтвердженням вибору моделі проєктованих світлодіодних світильників для системи робочого освітлення. Розглянуто переваги такого світлотехнічного приладу над звичним світильником з люмінесцентними лампами, розраховано економічну вигоду від застосування світлодіодних світильників.

					<i>MP 5.8.14.1.140 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки до оформлення дипломних робіт / Укладачі: М.А. Никифоров, І.Л. Лебединський.– Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 74 с.
2. Рудницький В.Г. Внутрішньоцехове електропостачання. Курсове проектування: Навчальний посібник. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2007.-280 с.
3. Дирацу В.С и др. Электроснабжение промышленных предприятий. - К.: Вища шк., 1974. - 280 с.
4. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
5. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електропостачання: Навч. посіб. - Л.: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2005. - 324 с
6. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 208 с.
7. Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных установок: Учеб. для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 424 с.
8. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. пособ. для техникумов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.
9. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.: Справочник электромонтажника / Под ред. А.Д. Смирнова и др. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 192 с.
10. Лигерман И.И. Конструирование электроустановок промпредприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 168 с.

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Правила улаштування електроустановок. - Х.: Вид-во «Форт», 2017. - 704 с.
12. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1984. - 472 с.
13. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92 / Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. - 1992. - № 7-8. - С. 4-28.
- 14.ГОСТ 28249-89. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1кВ.
- 15.ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».
- 16.Справочная книга для проектирования электрического освещения/ Кнорринг Г.М, И.М. Фадин, В.Н.Сидоров – 2-е изд, перераб и доп – СПб.: Энергоатомизд, Санкт- Петербургское отд-ние 1992. - 448 с.
17. Офіційний сайт Інтернет-магазину «Легор» [Електронний ресурс]. – електронний. Журн. – Режим доступу: <https://www.avtomats.com.ua/3012-io-500.html>
18. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: Учеб. Пособие.-Мн.: НПООО «ПИОН», 2001.-292 с.
- 19.Вільна енциклопедія «Вікіпедія» [Електронний ресурс]. – електронний. Журн. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/>
- 20.Василега П.О. Електропостачання – Суми: Вид-во СумДУ, 2019. - 521 с
- 21.НПАОП 01.41-1.11-10 «Правила безпечної експлуатації насосних станцій водогосподарських систем» затверджені наказом Комітету по нагляду за охороною праці України Міністерства праці та соціальної політики від 01.04.1999№55

					MP 5.8.14.1.140 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82